

rijkswaterstaat  
dienst getijdewateren  
bibliotheek  
grenadiersweg 31 -  
4338 PG middelburg

RIJKSWATERSTAAT  
Deltadienst  
Hfd. Milieu en Inrichting  
BIBLIOTHEEK

Onderzoek naar de mogelijkheid  
van de afsluiting van de Ooster-  
schelde met een gedeeltelijk ge-  
prefabriceerde stormvloedkering

Eind-rapport

's-Gravenhage, mei 1976

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Samenvatting en conclusies                                                       | 7  |
| 2. Inleiding                                                                        | 14 |
| 2.1. Regeringsopdracht                                                              | 14 |
| 2.2. Werkwijze                                                                      | 15 |
| 2.3. Uitgangspunten                                                                 | 17 |
| 3. Functie en invloed van de stormvloedkering                                       | 20 |
| 3.1. Veiligheid                                                                     | 20 |
| 3.1.1. Inleiding                                                                    | 20 |
| 3.1.2. De sluiting van de stormvloedkering                                          | 20 |
| 3.1.3. De binnenwaterstanden                                                        | 22 |
| 3.1.4. Translatiegolven op het bekken                                               | 22 |
| 3.1.5. Aantal sluitingen en de duur van de<br>stagnante periode                     | 23 |
| 3.1.6. Het openen van de kering                                                     | 24 |
| 3.2. Milieu aspecten                                                                | 24 |
| 3.2.1. Inleiding                                                                    | 24 |
| 3.2.2. Het verticale getij                                                          | 25 |
| 3.2.3. Het horizontale getij                                                        | 27 |
| 3.2.4. De verandering van het milieu onder<br>invloed van de reductie van het getij | 29 |
| 3.2.5. Stagnantie                                                                   | 30 |
| 3.3. Morfologische ontwikkelingen                                                   | 30 |
| 3.3.1. Inleiding                                                                    | 30 |
| 3.3.2. Ontwikkelingen tot heden                                                     | 31 |
| 3.3.3. Ontwikkelingen na de aanleg van de<br>stormvloedkering                       | 32 |
| 3.3.4. Stabiliteit van de oevers                                                    | 35 |
| 3.4. Compartimentering                                                              | 36 |
| 3.4.1. Noodzaak en mogelijkheden                                                    | 36 |
| 3.4.2. Keuze                                                                        | 36 |
| 3.4.3. Compartimentering volgens model C4                                           | 37 |
| 3.4.4. Tijdstip aanleg compartimenteringsdammen                                     | 37 |
| 4. Randvoorwaarden en uitgangspunten voor de ontwerpen                              | 39 |

|                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------|------|
|                                                                   | blz. |
| 4.1. Hydraulische aspecten                                        | 39   |
| 4.1.1. Inleiding                                                  | 39   |
| 4.1.2. Het doorstroomprofiel                                      | 42   |
| 4.1.3. Ontgrondingen en bodembescherming                          | 43   |
| 4.1.4. Stortebedden                                               | 45   |
| 4.1.5. De afdichting                                              | 46   |
| 4.1.6. De belasting op de kering                                  | 48   |
| 4.2. Grondmechanische aspecten                                    | 52   |
| 4.2.1. Inleiding                                                  | 52   |
| 4.2.2. Fundering op staal                                         | 52   |
| 4.2.3. Fundering op putten                                        | 53   |
| 4.2.4. Berekeningen en proeven                                    | 54   |
| 4.2.5. Grondgesteldheid                                           | 55   |
| 4.2.6. Stabiliteit                                                | 57   |
| 4.2.7. Deformaties                                                | 57   |
| 4.2.8. Stabiliteit van de rand van de bodembescherming            | 57   |
| 4.3. Vorm van het doorstroomprofiel                               | 58   |
| 4.3.1. Inleiding                                                  | 58   |
| 4.3.2. Ontgrondingen                                              | 60   |
| 4.3.3. Plaatsing                                                  | 61   |
| 4.3.4. Diversen                                                   | 61   |
| 4.4. De relatie tussen stormvloedkering en compartimen-<br>tering | 62   |
| 5. Ontwerpen voor de stormvloedkering                             | 66   |
| 5.1. Inleiding                                                    | 66   |
| 5.2. Caissons gefundeerd op staal                                 | 68   |
| 5.2.1. Inleiding                                                  | 68   |
| 5.2.2. Algemene vormgeving                                        | 68   |
| 5.2.3. Fundering                                                  | 71   |
| 5.2.4. Bodembescherming en afdichting                             | 75   |
| 5.2.5. Constructie                                                | 77   |
| 5.2.6. Schuiven                                                   | 78   |
| 5.2.7. Doorstroomprofiel van 20.000 m <sup>2</sup>                | 80   |
| 5.3. Pijlers op putten                                            | 80   |
| 5.3.1. Inleiding                                                  | 80   |
| 5.3.2. Algemene vormgeving                                        | 81   |

|                                                                                                           | blz. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 5.3.3. Fundering                                                                                          | 84   |
| 5.3.4. Bodembescherming en afdichting                                                                     | 86   |
| 5.3.5. Constructie                                                                                        | 89   |
| 5.3.6. Schuiven                                                                                           | 91   |
| 5.3.7. Profiel van 20.000 m <sup>2</sup>                                                                  | 91   |
| 5.4. Caissons gefundeerd op putten                                                                        | 91   |
| 5.4.1. Inleiding                                                                                          | 91   |
| 5.4.2. Algemene vormgeving                                                                                | 92   |
| 5.4.3. Fundering                                                                                          | 92   |
| 5.4.4. Bodembescherming en afdichting                                                                     | 92   |
| 5.4.5. Constructie                                                                                        | 95   |
| 5.5. Overige in beschouwing genomen alternatieven                                                         | 96   |
| 6. Constructieve en uitvoeringstechnische aspecten                                                        | 100  |
| 6.1. Verdichten van de ondergrond                                                                         | 100  |
| 6.1.1. Verdichtingsmethoden                                                                               | 100  |
| 6.1.2. Proefnemingen                                                                                      | 101  |
| 6.1.3. Ontwerp verdichtingsvaartuig                                                                       | 102  |
| 6.2. Drempelconstructies                                                                                  | 103  |
| 6.2.1. Constructieve en uitvoeringstechnische aspecten                                                    | 103  |
| 6.2.2. Verdichten van drempelmaterialen                                                                   | 108  |
| 6.2.3. Vlakheid drempel                                                                                   | 110  |
| 6.2.4. Aanzanding drempel                                                                                 | 111  |
| 6.2.5. Afdichting en onderloopsheid                                                                       | 116  |
| 6.3. Bodembescherming                                                                                     | 119  |
| 6.3.1. Zwaarte van de stortebetten                                                                        | 119  |
| 6.3.2. Stabiliteit van de rand van de bodembescherming                                                    | 120  |
| 6.3.3. Lengte bodembescherming                                                                            | 120  |
| 6.3.4. Maatregelen ter voorkoming van stabiliteits-<br>verlies                                            | 122  |
| 6.4. Beschouwde funderingsmethoden op palen en putten,<br>selectie en ontwikkeling naar huidige inzichten | 123  |
| 6.4.1. Inleiding                                                                                          | 123  |
| 6.4.2. Voorgespannen geprefabriceerde betonpalen met<br>kleine doorsnede                                  | 124  |
| 6.4.3. Stalen buispalen                                                                                   | 125  |
| 6.4.4. Boorpalen                                                                                          | 126  |



|                                                                                  | blz. |
|----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 6.4.5. Diepwanden                                                                | 126  |
| 6.4.6. Uit damwand samengestelde palen                                           | 126  |
| 6.4.7. Grote holle voorgespannen betonpalen                                      | 127  |
| 6.4.8. Betonnen putten                                                           | 127  |
| 6.5. Beschouwde caissontypen, selectie en ontwikkeling<br>naar huidige inzichten | 129  |
| 6.5.1. Inleiding                                                                 | 129  |
| 6.5.2. Ontwikkeling caissontypen                                                 | 130  |
| 6.5.3. De oplegging op de drempel                                                | 132  |
| 6.5.4. Caissons gefundeerd op putten                                             | 134  |
| 6.5.5. Bouw van de caissons                                                      | 135  |
| 6.6. Plaatsen van caissons                                                       | 135  |
| 6.6.1. Drijven                                                                   | 135  |
| 6.6.2. Transport                                                                 | 136  |
| 6.6.3. Plaatsingsmiddelen                                                        | 137  |
| 6.6.4. Plaatsing                                                                 | 138  |
| 6.6.5. Reserve-caissons                                                          | 143  |
| 6.7. Plaatsen van putten en pijlers                                              | 143  |
| 6.7.1. Stabiliteit                                                               | 143  |
| 6.7.2. Putten plaatsen                                                           | 145  |
| 6.7.3. Pijlers plaatsen                                                          | 147  |
| 6.7.4. Materieel                                                                 | 148  |
| 6.7.5. Opleggingen van caissons op putten                                        | 150  |
| 6.8. Afsluitmiddelen                                                             | 152  |
| 6.8.1. De schuiven                                                               | 152  |
| 6.8.2. De bewegingswerken                                                        | 153  |
| 6.8.3. De energievoorziening                                                     | 153  |
| 6.8.4. Onderzoek                                                                 | 155  |
| 6.8.5. Selectie                                                                  | 156  |
| 6.9. Enkele / dubbele kering                                                     | 157  |
| 6.9.1. Inleiding                                                                 | 157  |
| 6.9.2. Oorzaken van wegeringen                                                   | 158  |
| 6.9.3. Gevolgen van het weigeren van één of meer<br>schuiven                     | 159  |
| 7. Kosten en werkschema's                                                        | 163  |
| 7.1. Begroting van kosten                                                        | 163  |

|                                              | blz. |
|----------------------------------------------|------|
| 7.1.1. Uitgangspunten voor de begroting      | 163  |
| 7.1.2. Uitgevoerde werken en gedane uitgaven | 164  |
| 7.1.3. Kostenopstellingen                    | 166  |
| 7.1.4. Financieel overzicht                  | 166  |
| 7.2. Werkschema's                            | 167  |
| 7.2.1. Caissons gefundeerd op staal          | 167  |
| 7.2.2. Pijlers gefundeerd op putten          | 168  |
| 7.2.3. Caissons gefundeerd op putten         | 169  |
| 8. Analyse van de beschouwde ontwerpen       | 177  |
| 8.1. Algemeen                                | 177  |
| 8.2. Fundering                               | 178  |
| 8.3. De afdichting                           | 180  |
| 8.4. Plaatsing van caissons en putten        | 182  |
| 8.5. Werkschema's                            | 183  |
| 8.6. Kosten                                  | 185  |

## Hoofdstuk 1

### SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In dit rapport wordt verslag uitgebracht van de onderzoeken die tussen november 1974 en mei 1976 zijn ingesteld naar de uitvoerbaarheid, de kosten en de bouwtijd van een stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde. Behalve personeel van de Rijkswaterstaat zijn bij dit onderzoek technici betrokken geweest uit het bedrijfsleven en van gespecialiseerde laboratoria, alsmede deskundigen uit het buitenland.

De kering, die bestand moet zijn tegen een hoogwaterstand met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van eens per 4000 jaar, dient bij Yerseke een gemiddeld verticaal getijverschil van tenminste 2,3 m te kunnen leveren.

De kering wordt gesloten als de verwachting bestaat dat hoge waterstanden zullen worden bereikt. De bewegingswerken van de schuiven zijn zo ontworpen dat het sluiten kan geschieden zowel bij kentering als op stroom. Dit biedt een zekere vrijheid ten aanzien van het beheer van het systeem. Het doorstroomprofiel van de kering is afgestemd op de bij besluit van de regering vastgestelde compartimentering volgens model C3 met Oesterdam en Philipsdam. Niettemin is daarnaast nagegaan in hoeverre compartimentering volgens model C4 met Wemeldingedam en Philipsdam - waarbij een kleiner en minder aantrekkelijk getijbekken ontstaat - financiële voordelen zou bieden.

Uit het onderzoek bleek dat de financiële voordelen slechts gering zullen zijn.

De stand van het milieu-onderzoek biedt nog geen mogelijkheid tot een exacte kwantificering van de ecologische consequenties verbonden aan een wijziging van het huidige stroom- en getijregiem.

Daarom is niet alleen een stormvloedkering met een doorstroombopening van 11.500 m<sup>2</sup> onderzocht, maar ook een ontwerp op ba-

sis van  $20.000 \text{ m}^2$  doorstroomprofiel. Het gemiddelde getijverschil bij Yerseke bedraagt bij deze varianten respectievelijk 2,3 m en 3,1 m, ofwel ca. 65% en ca. 90% van het tegenwoordige getijverschil van 3,5 m.

Ook een doorstroomprofiel van  $30.000 \text{ m}^2$ , hetgeen een volledige instandhouding van het huidige getijverschil betekent, moet technisch realiseerbaar geacht worden. De daaraan verbonden kosten zullen echter aanzienlijk hoger zijn dan die van de stormvloedkering met  $20.000 \text{ m}^2$  doorstroomprofiel, terwijl de toeneming van de getij-amplitude die men ermee bereikt t.o.v. een doorstroomprofiel van  $20.000 \text{ m}^2$ , relatief gering is.

Niet alleen is nagegaan welke gevolgen de geopende kering zal hebben voor het milieu, maar ook welke gevolgen het heeft voor het milieu wanneer de kering tijdens storm gesloten is.

In het bijzonder bij een duur van de stagnantie van meerdere getijden blijkt het gewenst dat op het bekken een niveau wordt onderhouden gelegen tussen N.A.P. en N.A.P. + 0,4 m. Ook zijn de gevolgen bestudeerd die getij-reductie op het bekken heeft voor de morfologie van de buitendelta en van het bekken zelf.

Indien een deel van het getijvolume wegvalt is het geulensysteem in het bekken relatief te ruim. Verwacht wordt dat het zal gaan verondiepen. De verondieping zal voornamelijk optreden in de vorm van slibsedimentatie in het oostelijk deel van het bekken en zandsedimentatie in het westelijk deel. Voorts wordt enige nivellering verwacht van de geulen en banken in het bekken. De voordelta zal vermoedelijk in grootte afnemen door erosie aan de buitenrand. Daarentegen zal sedimentatie gaan optreden in de geulen in de kustzone. Ondanks de vermindering van de getijstromen zullen geulverleggingen en het feit dat de golfaanval zich in een kleinere oeverzone concentreert noodzaken tot aanvullende voorzieningen aan de oeverbescherming.

In de beginfase van de studie zijn enkele tientallen schetsontwerpen van zeer uiteenlopende aard op hun merites beoor-

deeld. Na selectie in een vroeg stadium evolueerden de resterende ontwerpen tot drie alternatieven. Deze ontwerpen onderscheiden zich van elkaar zowel in de wijze van funderen als in de keuze van de hoofdconstructie.

De drie alternatieven zijn:

1. caissons gefundeerd op staal
2. pijlers gefundeerd op putten
3. caissons gefundeerd op putten.

De caissons, die het betonnen raamwerk vormen waarbinnen de stalen schuiven kunnen worden bewogen, worden gebouwd in bouwdokken. Vanuit de bouwdokken worden ze in één seizoen naar de sluitgaten getransporteerd en daar afgezonken op een tevoren gemaakte drempel. Deze drempel, die op de bestaande grondslag wordt opgestort, vormt met de ondergrond de fundering van de caissons. Dit wordt een fundering op staal genoemd.

De beide andere constructies zijn gefundeerd op putten die in de bodem worden ingegraven. De putten worden met een Catamaranschip aangevoerd en geplaatst. Op de putten kunnen caissons worden afgezonken, maar het is ook mogelijk met eenzelfde soort schip pijlers op de putten te plaatsen. Tussen die pijlers worden daarna de schuiven ingehangen die de eigenlijke kering vormen. Over de pijlers wordt een wegverbinding aangelegd. De belangrijkste ontwerp- en uitvoeringsproblemen hebben te maken met de activiteiten in de geulen zelf. Aan de bouw van de caissons in de bouwdokken zijn bijvoorbeeld aanzienlijk minder problemen verbonden dan aan het laagsgewijs opstorten van de drempel. Met name de natuurlijke zandbeweging in de geulen kan de drempelopbouw verstoren, waardoor onzekerheid ontstaat omtrent de gewenste kwaliteit van de fundering.

Bij het plaatsen van putten speelt de zandbeweging in veel mindere mate een rol. Wel moeten voor een puttenfundering werkmethoden worden toegepast die men onder zulke omstandigheden van golf en stroom nog nooit heeft gebruikt. Ook het materieel dat men hierbij nodig heeft is nieuw en er bestaat nog geen ervaring mee.

Onderzocht is, welke invloed het heeft op het ontwerp, de veiligheidsaspecten en de kosten, wanneer men de stormvloedkering uitrust met een enkel dan wel een dubbel stel afsluitmiddelen.

De onderzoeken hebben geleid tot de volgende conclusies:

- a. De in het rapport gepresenteerde oplossingen, te weten
  - caissons gefundeerd op staal
  - pijlers gefundeerd op putten
  - caissons gefundeerd op putten,hebben vanwege de krap toegemeten studietijd het karakter van voorontwerpen, waarvan de belangrijkste aspecten zijn verkend, maar waarvan niet alle facetten tot in detail zijn onderzocht. Bovendien is er geen gelegenheid geweest om de ontwerpen te optimaliseren.
- b. De voorkeur gaat uit naar het ontwerp met pijlers op putten omdat
  - de aan deze oplossing verbonden ontwerp- en uitvoeringsproblemen oplosbaar worden geacht ondanks het feit dat met de uitvoering van een dergelijke constructie weinig ervaring bestaat;
  - de kering in 1985 bedrijfsgereed kan zijn;
  - de kosten ervan van dezelfde orde van grootte of lager zijn dan die van de beide andere varianten. De kosten van een stormvloedkering met een enkel stel afsluitmiddelen, waarmee een gemiddeld getij van 2,3 m bij Yerseke gerealiseerd kan worden, bedragen ca. f 2,9 miljard; hierin is opgenomen een post onvoorzien van f 0,25 miljard alsmede B.T.W. Een kering met een dubbel stel schuiven is ca. f 0,5 miljard duurder.
- c. Alhoewel de belangrijkste aan de pijleroplossing verbonden technische problemen in het voorontwerp zijn onderkend, zal, voor men met de uitvoering kan beginnen, nog nader onderzoek nodig zijn. In de planning zijn zes tot negen maanden beschikbaar voor nadere bestudering van de meest kritische werkonderdelen. Tijdens de uitvoering van het werk kunnen minder kritische aspecten nader worden onderzocht.

In verband met de schaal van het werk is verder in een noodzakelijk geachte reserve in de uitvoeringsduur van een  $\frac{1}{2}$  à 1 jaar voorzien.

d. Het verdient ernstige overweging de kering te voorzien van een enkel stel schuiven. Het ontwerp is zodanig uitgevoerd dat mocht één of meer dan één schuif weigeren de standze-kerheid van de kering niet in gevaar komt en ook de water-stand op het bekken dan binnen aanvaardbare grenzen blijft. De veiligheid van het aanliggende gebied komt daardoor niet in het gedrang. Voor het ontwerp van een stormvloed-kering met een doorstroomprofiel van  $20.000 \text{ m}^2$  moeten nog enige onderzoekingen plaats vinden alvorens definitieve conclusies kunnen worden getrokken.

De toepassing van één stel afsluitmiddelen verhindert niet dat de kering op eenvoudige wijze kan worden uitgerust met een dubbel stel sponningen. Als op een later tijdstip de inzichten zich zouden wijzigen, kan alsnog een tweede stel schuiven aangebracht worden.

e. De stormvloedkering levert het gewenste minimum getijverschil van gemiddeld 2,3 m te Yerseke bij een doorstroomopervlakte van  $11.500 \text{ m}^2$ . In plaats van dit doorstroomprofiel waarbij het getijverschil ca. 65 % van het huidige bedraagt, kan in het zelfde tijdsbestek ook een doorstroomprofiel van  $20.000 \text{ m}^2$  worden gerealiseerd, waardoor het getijverschil tot ca. 90 % van het huidige wordt opgevoerd. Een stormvloedkering met een effectief doorstroomprofiel van  $20.000 \text{ m}^2$  met enkele schuiven is ca. f 0,26 miljard duurder en met dubbele schuiven ca. f 0,38 miljard.

Eventueel kan een in eerste instantie gerealiseerd profiel van  $11.500 \text{ m}^2$  in een later stadium worden vergroot tot  $20.000 \text{ m}^2$ . Daarmee zijn dan wel hogere aanpassingskosten gemoeid dan f 0,26 miljard, respectievelijk f 0,38 miljard.

f. De stormvloedkering is afgestemd op een compartimentering volgens het model C3. Compartimentering volgens C4, met een kleiner en dus minder aantrekkelijk getijdebekken biedt bij de bouw van de stormvloedkering slechts geringe financiële voordelen boven C3.

De compartimenteringswerken kunnen gelijktijdig met de stormvloedkering gereed zijn.

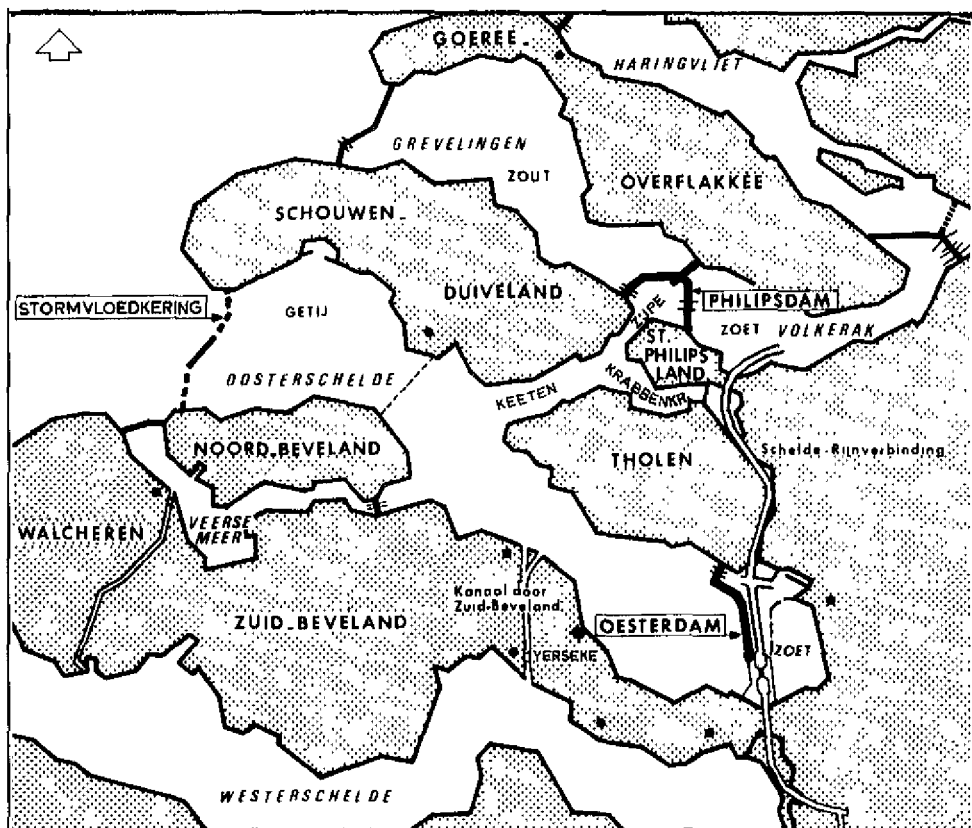
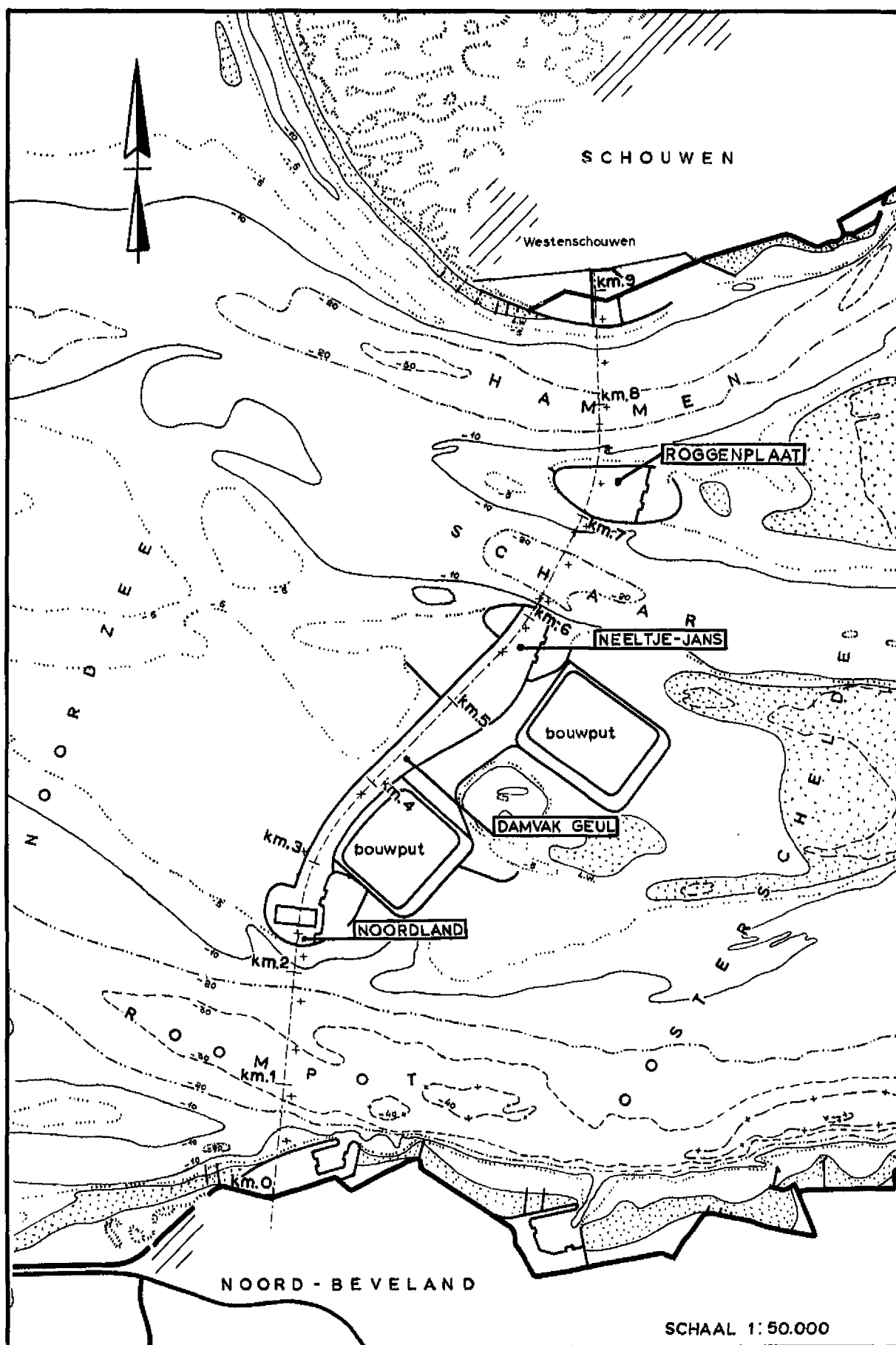


Fig.1  
Situatie stormvloedkering en compartimenteringsdammen volgens model C3.





Overzicht monding Oosterschelde

Fig. 1

## Hoofdstuk 2

### INLEIDING

#### 2.1. REGERINGSOPDRACHT

Op 9 november 1974 deelde de regering de Tweede Kamer der Staten Generaal schriftelijk mee dat zij had besloten de Oosterschelde te doen afsluiten door middel van een zogenaamde stormstuwcaissondam, later ook veelal aangeduid als stormvloedkering.

De bedoeling was, een kering te bouwen die voor een deel zou bestaan uit doorlatende elementen.

Onder normale omstandigheden staan die elementen open en laten ze een gedempte getijbeweging op het Oosterscheldebekken toe, maar bij stormvloeden kan men ze sluiten. In gesloten toestand biedt de stormstuwcaissondam het achterliggende gebied een veiligheid overeenkomend met die welke in de Delta-wet voor het onderhavige gebied wordt voorzien.

Deze oplossing voorziet er volgens de regering in: "een groot deel van het Oosterscheldeareaal op te nemen in een ecosysteem, waarvan een aantal randvoorwaarden - getij, stroming, zoutgehalte en temperatuur - de huidige zoveel mogelijk benaderen". Om waterhuishoudkundige redenen en om de Schelde-Rijn verbinding getij-vrij te maken, is het bij deze oplossing noodzakelijk het Oosterscheldebekken door meer landinwaarts gelegen scheidingsdammen onder te verdelen in compartimenten. Daar ten tijde van de regeringsbeslissing nog onzekerheid bestond ten aanzien van een aantal fundamentele aspecten van de voorgestelde oplossing, verbond de regering aan haar beslissing een drietal ontbindende voorwaarden. Er zal geen stormvloedkering worden gebouwd indien:

- a. de stormstuwcaissondam technisch niet realiseerbaar blijkt;
- b. de werken niet in 1985 gereed kunnen zijn;
- c. de geraamde meerkosten van het nieuwe plan ten opzichte van het oorspronkelijke plan wezenlijk worden overschreden.

Na uitvoerige behandeling van het voorstel keurde de Tweede Kamer de regeringsbeslissing op 20 november 1974 goed. Onder de werken welke in 1985 gerealiseerd moeten zijn, verstaat de regering tevens de werken ter compartimentering van het bekken. Ten aanzien van de bedoelde meerkosten gaf de regering de volgende precisering: het op 1750 miljoen geraamde verschil in kosten tussen volledige afsluiting van de Oosterschelde en de afsluiting van de Oosterschelde door middel van een stormstuwcaissondam, beide inclusief de daarbij behorende compartimenteringen, mag met ten hoogste 20 % worden overschreden. Het gehanteerde prijspeil is dat van aanvang 1974. Aan de Rijkswaterstaat werd opgedragen de nodige onderzoeken uit te voeren en binnen anderhalf jaar verslag uit te brengen omtrent de realiseerbaarheid, de kosten en de benodigde bouwtijd van het bedoelde werk.

## 2.2. WERKWIJZE

Direct nadat de studieopdracht was verstrekt heeft de Rijkswaterstaat, lettend op de korte beschikbare tijd, een mobilisatie ondernomen van deskundigen die een bijdrage konden leveren aan het onderzoek. Niet alleen deskundigen van de Rijkswaterstaat zijn bij de studies betrokken, maar ook technici uit het bedrijfsleven en van gespecialiseerde researchlaboratoria, zowel in als buiten Nederland.

Voor de uitvoering werd de studie ondergebracht in een projectorganisatie, met aan de basis een groot aantal werkgroepen, die werden gecoördineerd door een projectgroep, bijgestaan door een aantal stafgroepen. De supervisie berustte bij een stuurgroep.

Voor het oplossen van gedurende de studie gerezen specifieke problemen werden verschillende ad-hoc werkgroepen ingesteld. In fig. 3 is de organisatievorm nader aangegeven.

In de projectorganisatie waren de volgende instanties vertegenwoordigd; van de zijde van de Rijkswaterstaat: de Deltadienst, de Directie Bruggen, de Directie Sluizen en Stuwen, de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, de Dienst Informatieverwerking en het Rijkswegenbouwlaboratorium.

Van de zijde van de aannemers: de Studiecommissie Oosterschelde (Stucos), waarin vertegenwoordigd: de Ballast-Nedam Groep N.V., de Bos Kalis Westminster Groep N.V., de Hollandse Beton Groep N.V., de Koninklijke Adriaan Volker Groep B.V. de Stevin Groep N.V. en de Combinatie Dijkbouw Oosterschelde gevormd door: Aannemers Combinatie Zinkwerken B.V., Baggermaatschappij Breejenbout B.V., Van Hattum en Blankevoort Baggeren B.V., Hollandsche Aanneming Maatschappij B.V., B.V. Aannemings- en Wegenbouwbedrijf P.H. Offringa, Aannemingsmaatschappij Van Oord - Utrecht N.V., Adriaan Volker Baggermaatschappij B.V.

Als onderzoek-instellingen: het Waterloopkundig Laboratorium en het Laboratorium voor Grondmechanica.

Voorts werden adviezen ingewonnen bij de volgende laboratoria, bedrijven en instanties: Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation, Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, Rijksinstituut voor de Drinkwatervoorziening, T.N.O., Technische Hogeschool Delft, Bureau voor Scheepsbouw, Bitumarin, Rand Corporation (V.S.), Massachusetts Institute of Technology (V.S.), University of Manchester (Engeland), Universität Karlsruhe (Duitsland), Institut für Wasserbauten A.G. (Zwitserland), Oregon State University (V.S.).

Voor de uitvoering van de studie is er van uitgegaan, dat het project in etappes tot de gewenste ontwikkelingsgraad moest worden gebracht. Daartoe is de voor de studie beschikbare tijd opgedeeld in vijf ongeveer gelijke perioden, met voor elke periode nader omschreven doelstellingen.

Elke studieperiode werd afgesloten met een analyse en een evaluatie van de studieresultaten. Aan de hand daarvan werden zonodig aangepaste richtlijnen opgesteld voor het verdere verloop van de onderzoeken.

De Minister hield de vaste commissie van Verkeer en Waterstaat van de Tweede Kamer door middel van tussentijdse rapportage, begin maart 1975, begin juni 1975, medio september 1975 en begin januari 1976, voortdurend op de hoogte. Bij de aanvang van de studie werd verwacht dat de constructieve vormgeving van de stormvloedkering het beste zou kunnen bestaan uit een aaneensluitende reeks doorlaatcaissons gefun-

deerd "op staal", dat wil zeggen rechtstreeks geplaatst op een drempel van stortsteen.

Voor het geval dat een funderingswijze op staal op ernstige problemen zou stuiten werd reeds vanaf de aanvang van de studie een aantal alternatieven beschouwd, met name fundering van de doorlaatcaissons op palen.

In een later stadium van de studie evolueerde dit alternatief tot een nieuw ontwerp: pijlers gefundeerd op putten.

Het krappe tijdschema bracht mee dat vele facetten van het onderzoek, die in een normaal geval nà elkaar zouden zijn behandeld, gelijktijdig ter hand moesten worden genomen.

Naarmate de ontwerpen evolueerden moesten bepaalde onderzoeken daarom voortijdig worden omgebogen of zelfs geheel verlaten. De gepresenteerde ontwerpen moeten dan ook gezien worden als voorontwerpen, waarvan een groot aantal detailproblemen nog opgelost zal moeten worden. Tijdgebrek is ook de reden dat onvoldoende aandacht kon worden besteed aan een oplossing waarbij een grotere getijbeweging op het bekken overblijft dan het minimaal door de regering geëiste gemiddelde tijverskil van 2,3 m bij Yerseke. In het rapport is derhalve, voor zover niet anders is vermeld, gerefereerd aan deze oplossing.

## 2.3.

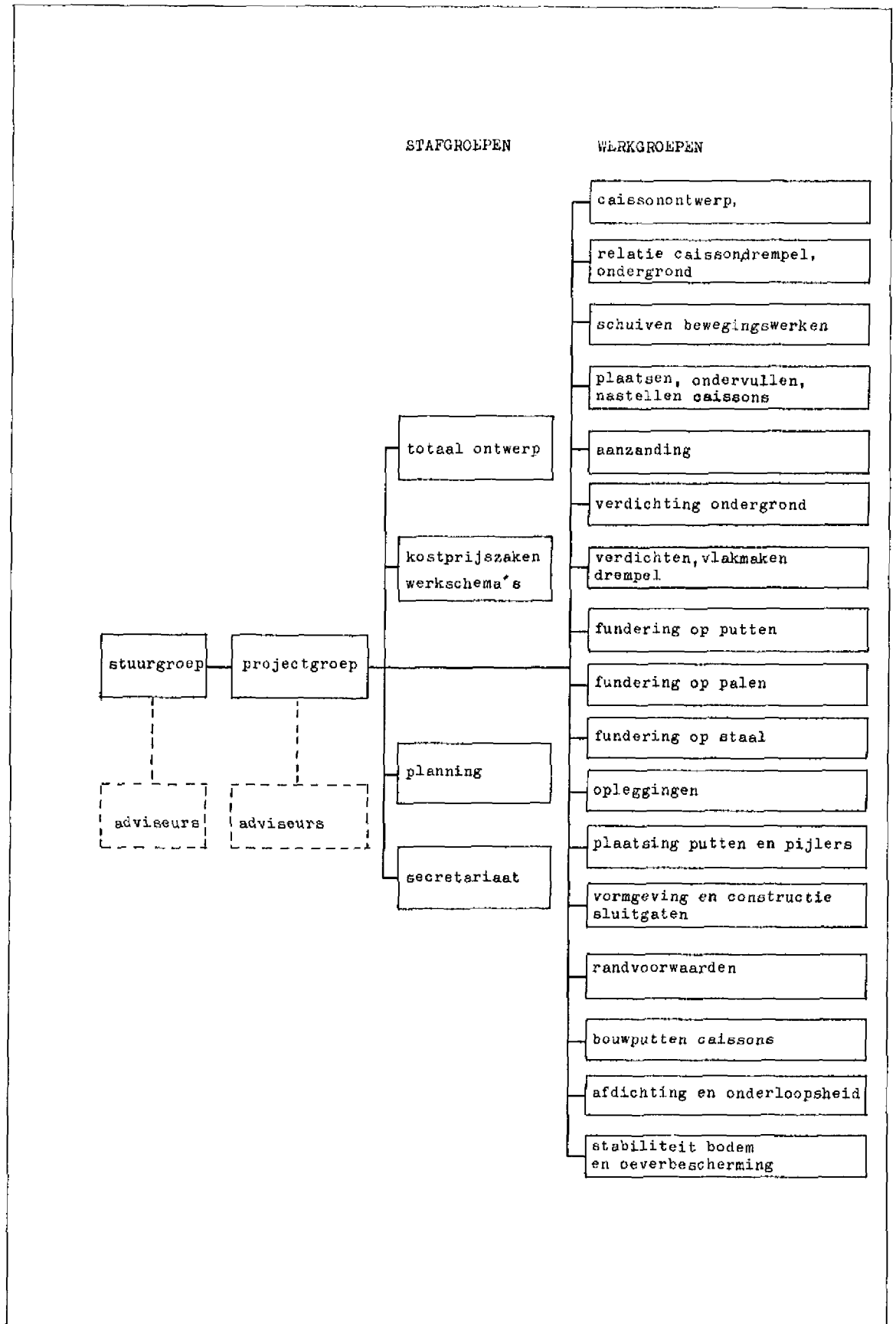
### UITGANGSPUNTEN

De hoofduitgangspunten voor de studie waren:

1. Het maken van een voorontwerp van een afsluitbare kering in de bestaande geulen door middel van geprefabriceerde elementen met een zodanig doorstroomprofiel dat ca. 65% van het huidige verticale getij overblijft, overeenkomend met een gemiddeld getijverschil van 2,3 m bij Yerseke. Aangezien de stormvloedkering de randvoorwaarden van het huidige ecosysteem in de Oosterschelde zo goed mogelijk dient te benaderen, is globaal nagegaan welke consequenties het heeft voor het ontwerp van de kering als men respectievelijk ca. 90% van het huidige getij, overeenkomend met 3,1 m en ca. 100%, overeenkomend met 3,5 m gemiddeld

getijverschil bij Yerseke wenst te handhaven.

2. De constructie moet bestand zijn tegen een stormvloed met een waterstand die een gemiddeld overschrijdingsfrequentie heeft van  $10^{-4}$  maal per jaar, verminderd met 0,3 m.
3. Het Oosterscheldebekken wordt gecompartmenteerd volgens model C3 (Oesterdam en Philipsdam) met een aangepast kanaal door Zuid-Beveland.
4. De stormvloedkering volgt het bestaande sluitingstracé.
5. De debietverdeling over de keringen in de geulen dient ongeveer evenredig te zijn met de huidige debietverdeling.
6. Vóór de sluiting van de compartimenteringsdammen - op zijn vroegst 1984 - mag in verband met de zoutbelasting op het noordelijk Deltabekken, geen aanmerkelijke getijdemping optreden op het Oosterscheldebekken.
7. De afsluitmiddelen in de stormvloedkering moeten kunnen worden gesloten, zowel op de LW-kentering voorafgaande aan een storm, als op stroom in beide richtingen.
8. In geval van sluiting mag de stabiliteit van de kering niet in gevaar komen, bij weigering van één of meerdere bewegingswerken.
9. Bij de vaststelling van het minimumdoorstroomprofiel moet rekening worden gehouden met een reserveprofiel ten behoeve van onderhoud.
10. Over de dam moet een eenvoudige verkeersweg worden aangebracht.



Projectorganisatie studie stormvloedkering Oosterschelde Fig. 3

## Hoofdstuk 3

### FUNCTIE EN INVLOED VAN DE STORMVLOEDKERING

#### 3.1. VEILIGHEID

##### 3.1.1. Inleiding

De Deltacommissie heeft in haar eindrapport (1960) als uitgangspunt voor de veiligheidscriteria die aan de hoofdwatervloedkeringen gesteld moeten worden, het zogenaamde "basispeil" gedefiniëerd. Het basispeil is de hoogwaterstand die een gemiddelde overschrijdingsfrequentie heeft van  $10^{-4}$  per jaar, ofwel een overschrijdingskans van 1 % per eeuw.

Afhankelijk van de door de hoofdwatervloedkeringen beschermde belangen mogen hierop reducties worden toegepast. Voor de Oosterscheldedam bedraagt deze reductie 0,3 m. Als resultaat wordt het zogenaamde "ontwerppeil" verkregen. Voor de stormvloedkering betekent dit in feite dat het ontwerppeil een hoogwaterstand is met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van  $2,5 \times 10^{-4}$  per jaar, ofwel gemiddeld eenmaal per 4.000 jaar. Dit ontwerppeil is een statistisch bepaalde waarde, die uitsluitend betrekking heeft op een hoogwaterstand en die van plaats tot plaats kan verschillen.

Het ontwerppeil van de stormvloedkering bedraagt aan de Noordelijke Damaanzet op Schouwen N.A.P. +5,3 m, en aan de Zuidelijke Damaanzet op Noord-Beveland N.A.P. +5,5 m.

##### 3.1.2. De sluiting van de stormvloedkering

De stormvloedkering staat onder normale omstandigheden open. Indien de verwachting bestaat dat op korte termijn zeer hoge waterstanden zullen worden bereikt, moet de kering gesloten worden. Maar wanneer precies?

Als criterium hiervoor zou bijvoorbeeld kunnen gelden het bereiken van een binnenwaterstand waarbij de dijken nog juist geen gevaar lopen. Een uitgangspunt zou ook kunnen zijn het bereiken van een waterstand op het bekken waarbij het milieu zo min mogelijk schade ondervindt van het tijdelijk wegvallen van de getijbeweging.



Een probleem is echter dat het verloop van de binnenwaterstand sterk afhangt van onder andere de snelheid waarmee de buitenwaterstand oploopt. De binnenwaterstand en de sluitingsduur zijn dan ook moeilijk te voorspellen, temeer daar met de sluiting globaal 30 à 60 minuten gemoeid zijn. Een bruikbaar criterium is het bereiken van een bepaalde buitenwaterstand of de verwachting daarvan. Voor het bepalen van de kritieke waterhoogte wordt vaak het grenspeil gehanteerd; dat is het peil dat gemiddeld eenmaal per twee jaar overschreden wordt. De omstandigheden waaronder de sluitingsmanoeuvre plaatsvindt, kunnen dus zijn:

- sluiting tijdens de stroomkentering,
- sluiting in stromend water.

#### Sluiting op laagwaterkentering

Als het grenspeil of een hogere waterstand voorspeld wordt voordat de aan deze hoogwaterstanden voorafgaande laagwaterkentering is opgetreden, kan de sluitingsmanoeuvre rondom deze kenteringsperiode uitgevoerd worden. Ze vindt dan plaats in vrijwel stilstaand water, hetgeen hydraulisch aantrekkelijk is; maar ook gemakkelijk voor de schuiven en bewegingswerken wegens het ontbreken van dynamische belastingen ten gevolge van stroming.

#### Sluiting op stroom

Het is echter denkbaar dat er omstandigheden zijn, waarbij niet op de laagwaterkentering gesloten kan worden. Menselijke tekortkomingen, of een meteorologische verrassing kunnen sluiting van de kering in stromend water noodzakelijk maken. Indien aan de zee-zijde van de kering dan bijvoorbeeld het grenspeil wordt bereikt dient de sluitingsmanoeuvre hoe dan ook, gestart te worden. Ook voor het milieu lijkt een hoger peil op het bekken dan bereikt wordt bij sluiting op de laagwaterkentering, bijvoorbeeld van ca. N.A.P. à N.A.P. +0,4 m het meest aantrekkelijke (zie 3.2.). Er zou dan op basis van een verwacht buitenwaterstandsverloop getracht kunnen worden een zodanig sluitingsprogramma uit te voeren dat dit peil bereikt wordt. In ieder geval moet de sluiting zo verlopen dat

er geen binnenwaterstanden optreden waarbij de dijken nog gevaar lopen.

In deze gevallen vindt de sluiting plaats tijdens rijzend water, waarbij er een toenemend verval over de kering staat. Dit verval en de stroming die er het gevolg van is, veroorzaken grote belastingen op de schuiven, waardoor aanzienlijke hogere eisen gesteld moeten worden aan de bewegingswerken.

### 3.1.3. De binnenwaterstanden

Welke waterstanden er na de sluiting van de stormvloedkering op het bekken aanwezig zullen zijn, wordt bepaald door het tijdstip en de sluitingsduur, het stormvloedverloop en het doorstroomprofiel van de kering.

Bij sluiting op de laagwaterkentering zal de gemiddelde bekkenstand ongeveer N.A.P.  $-0,5\text{ m}$  à  $-1\text{ m}$  bedragen, afhankelijk van de heersende windsnelheden. Bij de kering bedraagt de waterstand dan ca. N.A.P.  $-1,5\text{ m}$ .

Bij sluiting tijdens de vloedstroom wordt het binnenpeil hoger, tot ca. N.A.P.  $+2,8\text{ m}$ , dit zijn standen onmiddellijk na sluiting. Als gevolg van lekken, golfoverslag en dergelijke is bij een langdurende storm daarna nog een verhoging van enkele dm's te verwachten tot ongeveer N.A.P.  $+3\text{ m}$ .

Wanneer één of meerdere schuiven niet gesloten zijn kan een extra verhoging ontstaan. Voor de grootte hiervan wordt verwezen naar 6.9.

### 3.1.4. Translatiegolven op het bekken

Tijdens de sluiting op stroom wordt het doorstroomprofiel ter plaatse van de stormvloedkering vrij snel verminderd, met als gevolg een zogenaamde translatiegolf.

De door de sluiting veroorzaakte (negatieve) translatiegolf zal zich op het bekken voortplanten en terugkaatsen tegen de compartimenteringsdammen. De translatiegolf veroorzaakt relatief grote waterstandsverschillen over vrij korte afstand, waardoor problemen zouden kunnen ontstaan met afgemeerde schepen, oeverbekledingen en dergelijke.

De afmetingen en de hydraulische weerstand van het bekken zor-

gen echter voor een snelle demping van deze golf. Uit het onderzoek blijkt dat er weinig kans is op hinderlijke resonantieverschijnselen in de havens langs het bekken.

3.1.5. Aantal sluitingen en duur van de stagnante periode

Indien men de kering wil sluiten bij laagwaterkentering, dat wil zeggen nadat de Stormvloedwaarschuingsdienst ongeveer 6 uur voor hoogwater een grenspeiloverschrijding heeft voorspeld zal men in bepaalde gevallen onnodig sluiten. Het kan daarentegen ook voorkomen dat geen grenspeiloverschrijding wordt voorzien terwijl deze wel optreedt, in dat geval zal men ten onrechte niet sluiten.

Ter toelichting dienen de volgende gegevens dienaangaande voor Vlissingen: In de stormseizoenen 1966/'67-1975/'76 is blijkens de gepubliceerde stormvloedrapporten overschrijding van het grenspeil 22 maal voorspeld en 17 maal opgetreden, waarvan

- voorspeld en overschreden : 14 maal
- voorspeld en niet overschreden : 8 maal
- niet voorspeld en wel overschreden : 3 maal

Zoals gezegd betreffen deze voorspellingen het tijdstip van 6 uur vóór hoogwater. Deze tijdsduur is dermate lang dat gezien het vaak grillige verloop van de meteorologische omstandigheden (met name windrichting en -kracht) de voorspellingen afhankelijk van dit verloop gedurende de storm voortdurend op hun waarde getoetst moeten worden. Ook kan de storm onverwacht in hevigheid toenemen, waardoor hoewel 6 uur vóór hoogwater nog geen grenspeiloverschrijding voorspeld is, deze overschrijding toch optreedt (in de periode 1966/'67-1975/'76 is dit 3 maal voorgekomen).

Uiteraard kan de Stormvloedwaarschuingsdienst op kortere termijn vóór het optredende hoogwater een nauwkeuriger voorspelling over het al dan niet overschrijden van het grenspeil geven. Hoewel hierover geen exact cijfermateriaal ter beschikking staat is het namelijk aannemelijk dat de Stormvloedwaarschuingsdienst onder de huidige omstandigheden gedurende de laatste 3 à 4 uur voor hoogwater de over een uur te verwachten waterstanden met een behoorlijke nauwkeurigheid ( $\pm 1$  à 2 dm) kan voorspellen.

In dat geval zal echter bij stromend water gesloten moeten worden. De kans dat niet terecht gesloten wordt is in dat geval gezien het bovenstaande echter zeer klein.

De duur van een stagnante periode is afhankelijk van de stormduur, waarbij in extreme gevallen rekening moet worden gehouden met een stagnantie van 36 tot 48 uur, dat wil zeggen 3 à 4 getijden.

De kering zou ook gesloten kunnen worden om andere redenen zoals bijvoorbeeld calamiteiten op zee (olievlek, enz.) of op het bekken (schade aan waterkeringen, enz.). Schatting van de dan benodigde duur van sluiting is niet mogelijk.

### 3.1.6. Het openen van de kering

Na de storm kan de kering in principe het beste weer worden geopend op het tijdstip dat buiten- en binnenwaterstand ongeveer aan elkaar gelijk zijn. Is om een of andere reden niet tot opening overgegaan, dan zal enkele uren tot een gehele getijd-periode gewacht moeten worden.

De schuiven kunnen echter ook zonder bezwaar geopend worden als het verval over de kering ca. 2 à 3 m bedraagt. Met betrekking tot het openen van de kering is er dus de nodige vrijheid.

## 3.2. MILIEU-ASPECTEN

### 3.2.1. Inleiding

De doelstelling van de regering met betrekking tot het milieu in de Oosterschelde, is neergelegd in de brief van de Minister van Verkeer en Waterstaat aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten Generaal d.d. 9 november 1974. Hij schrijft daar: "De oplossing met een zogenaamde stormstuwcaissondam voorziet er in een groot deel van het Oosterscheldeareaal op te nemen in het ecosysteem, waarvan een aantal randvoorwaarden - getij, stroming, zoutgehalte en temperatuur - de huidige zoveel mogelijk benaderen".

De nadruk ligt hier op het benaderen, want een integraal behoud is niet mogelijk: door de aanleg van zowel de stormvloedkering als de daarbij benodigde compartimenteringsdammen, zul-

len de genoemde randvoorwaarden onvermijdelijk veranderen. De gevolgen ervan voor het ecosysteem zijn zowel van kwalitatieve aard als van kwantitatieve aard; niet alleen soortenrijkdom, maar ook het aantal organismen per soort wordt erdoor beïnvloed.

Bij de bestudering van de verandering der ecologische randvoorwaarden moeten de effecten van de stormvloedkering steeds wel worden onderscheiden van de gevolgen van de compartimentering.

Door de bouw van de compartimenteringsdammen zal het getij in een deel van het gebied volledig wegvallen; in het overige deel wordt voornamelijk de horizontale getijbeweging, de stroming, beïnvloed.

De bouw van de stormvloedkering echter zal zowel de horizontale als de verticale getijbeweging beïnvloeden.

Het onderzoek heeft zich gericht op het bepalen van relaties tussen een aantal milieuwaarden en de randvoorwaarden, die volgens de getijberekeningen behoren bij een aantal varianten van compartimentering en bij verschillende doorstroomopeningen van de stormvloedkering. Ideaal zou het zijn, als de relaties tussen de milieuwaarden en de omstandigheden kwantitatief zouden kunnen worden gepresenteerd. Dit is echter slechts voor een beperkt aantal facetten mogelijk.

Voorwaarde tot het leggen van een dergelijke relatie zou dan tevens zijn, dat het bestaande ecosysteem goed geïnventariseerd zou zijn en ook dat is niet het geval. Het onderzoek heeft zich daarom gericht op een aantal duidelijk herkenbare en gedeeltelijk ook kwantificeerbare facetten van het ecosysteem, zoals de effecten op de schorren, de milieueffecten van de inperking van het intergetijdegebied, de zoutgehalten en de sedimentatie in het bekken.

In het navolgende wordt een samenvatting gegeven van de resultaten van het milieu-kundig onderzoek, maar alleen voorzover ze betrekking hebben op de effecten van de stormvloedkering.

### 3.2.2. Het verticale getij (waterstanden)

Reductie van het verticale getij heeft invloed op de schorren, op het intergetijdegebied - dat is het gebied gelegen tussen

HW en LW - en op de schelpdierencultures. Op het schor heeft een vermindering van de getijhoogte tot gevolg dat de overspoelingsfrequentie op verschillende niveaus van het schor afneemt.

Daardoor kunnen zich verschuivingen voordoen in de bestaande vegetatiegordels, die immers aan een bepaalde frequentie van overspoeling met zout water gebonden zijn. De vegetatiegordels met de hoogste zouttoleranties, die frequent overspoeld worden, zullen vanwege de geringere overspoelingsfrequentie worden vervangen door vegetaties met een lagere zouttolerantie.

De verschuivingen zullen groter zijn naarmate het getij meer wordt gereduceerd. Het behoud van de huidige schorrenvegetatie is slechts mogelijk als de lagere delen van het schor, de zogenaamde kommen, frequent en voldoende lang worden overspoeld. Uit de hoogteligging van deze kommen kan worden afgeleid dat de gewenste overspoeling slechts mogelijk is bij een gemiddeld getijverschil bij Yerseke van ca. 3 m. Bij een kleiner getijverschil zal het huidige schor verzoeten. Op zichzelf behoeft dit niet negatief beoordeeld te worden. Deze gebieden behouden een grote natuurwaarde.

Men zou zich kunnen afvragen of er zich geen nieuwe schorren zullen ontwikkelen vóór de huidige.

Dit zou inderdaad het geval zijn, als in het gebied vóór het tegenwoordige schor de sedimentatie groter zou zijn dan de erosie. Bij een reductie van het getij is dit echter niet te verwachten omdat de golfaanval en het sedimenttransport in de zone vóór het schor eerder zal toenemen dan afnemen. Immers, in een gedempt getijdebekken zal de lokaal opgewekte golfwerking niet wezenlijk afwijken van de huidige, maar de zone waarin deze golfwerking zich doet gevoelen, het intergetijdegebied, wordt kleiner en wordt dus meer aangevallen.

Nieuwvorming van schorren zal dan ook slechts in geringe mate optreden voornamelijk in die gebieden, waar dit thans ook in betekenende mate gebeurt.

De afslag zal overheersen en de schorren zullen in het algemeen steilere oevers krijgen.

De intergetijdezone en de vooroever spelen een uitermate belangrijke rol in het ecosysteem van het getijdegebied. De hierin aanwezige biomassa, in de vorm van bodemdieren en onderwaterflora, bepaalt het voedselaanbod voor vogels en vissen. Bij reductie van het verticale getij neemt het oppervlak van het intergetijdegebied af en daarmee de totale jaarlijks beschikbare hoeveelheid biomassa.

Anderzijds neemt de slibsedimentatie bij lagere snelheden toe, en daarmee de bezinking van de aan het slib gebonden organische voedingsstoffen. Uit een ecologisch rekenmodel waarin deze beide factoren zijn ingebracht, zou blijken dat de biomassaproductie niet lineair afneemt met de vermindering van het gemiddelde getijverschil.

Er is een indicatie dat de biomassa aanvankelijk wel afneemt als men het getijverschil verkleint, maar bij verdere vermindering van het gemiddeld getijverschil neemt ze weer toe onder invloed van de vergrote sedimentatie.

Het is overigens verder onduidelijk of een eventuele vermindering van de biomassa behalve kwantitatieve ook kwalitatieve gevolgen heeft, met andere woorden, of ze ook van invloed zal zijn op de soortenrijkdom van het ecosysteem.

### 3.2.3. Het horizontale getij (stromingen)

Reductie van het horizontale getij beïnvloedt de snelheidsgebonden organismen; dit zijn die organismen die door de stromingen in zwevende toestand worden gehouden, zoals plankton, of die voor hun voedselaanvoer en de afvoer van hun uitscheidingsprodukten stromend water nodig hebben, zoals de meeste bodemdieren. De bezinking van plankton heeft nog onbekende gevolgen voor het ecosysteem. Ze zullen echter belangrijker zijn, naarmate de getijstromen meer afnemen.

Voor wat betreft de schelpdierencultures wordt in de "Rode Nota" van de Rijksplanologische Commissie opgemerkt dat deze een gemiddeld getijverschil van minimaal 2,3 m bij Yerseke vereisen. Blijkbaar worden de bij dit getijverschil en compartimentering C3 behorende stroomsnelheden, die in het gebied rond Yerseke dan ongeveer de helft bedragen van de huidige, voldoende geacht om de noodzakelijke afvoer van uitscheidingsprodukten van

de schelpdieren te realiseren. Behalve plankton zullen door de reductie van het getij ook zand en slib vanuit zee in het bekken kunnen bezinken. Het bezinken van zand beschouwd men niet als bezwaarlijk: de bezinking van slib ook niet, mits aan een aantal voorwaarden wordt voldaan:

- Het slib mag niet meer verontreinigende stoffen meevoeren dan het huidige Noordzeeslib. Gebleken is, dat het Noordzeeslib dat thans naar de Oosterschelde wordt gevoerd, weinig verontreinigingen bevat. Dit in tegenstelling tot het Rijnslib. De toevoer van deze laatste slibsoort zal dan ook zo klein mogelijk moeten zijn.
- De hoeveelheid fijn bezinkend slib op de bodem mag in de bovenste tien meter waterdiepte niet zo groot worden, dat de bodemflora en -fauna onder een laag modder verdwijnen. Slibafzettingen in de orde van 0,1 m en meer per jaar liggen boven het toelaatbare. Bij een geringe sedimentatie - men denke aan enkele cm's per jaar - neemt de bodemfauna kwantitatief en kwalitatief toe.
- Ten aanzien van de schelpdierencultures heeft de Directie van de Visserijen het volgende opgemerkt: "Als het stroompatroon zich zodanig wijzigt, dat slibafzettingen gaan optreden op plaatsen waarvan het nu juist met de stroom wordt verwijderd, laat het zich aanzien dat nadelige gevolgen voor de schelpdierenteelt te verwachten zijn. Het hangt van de plaats en de omvang van deze afzettingen af, in hoeverre maatregelen moeten worden getroffen. Verwacht mag worden dat, in eerste instantie door het nemen van passende cultuurtechnische maatregelen, hierin kan worden voorzien."

Reductie van het horizontale getij houdt ook in dat de wateruitwisseling tussen de Noordzee en de Oosterschelde kleiner wordt. Dit is van belang omdat met het Noorzeewater ook larven, kieren en organische stoffen naar de Oosterschelde worden vervoerd en vice versa. Of en in hoeverre een stormvloedkering met een hooggelegen doorstroomopening een hindernis kan vormen voor de migratie van grotere bodemgebonden vissen is momenteel niet te kwantificeren.

Een ander gevolg van de reductie van het horizontale getij is dat zoet water, dat op het zoute bekken wordt gebracht, minder



intensief zal worden gemengd, hetgeen van invloed is op de zoutgehalten in het getijgebied.

Om de huidige soortensamenstelling van het Oosterscheldegebied zoveel mogelijk in stand te houden is tenminste een zoutgehalte van 15,5 gr Cl-/l nodig in de Oosterschelde en 13,5 gr Cl-/l in de Krabbenkreek. Het zoutgehalte mag slechts in extreme omstandigheden kortdurend beneden deze waarden dalen; in de huidige situatie worden deze waarden niet onderschreden. Uit het rapport van de Commissie Compartimentering Oosterschelde kan worden geconcludeerd, dat vermoedelijk aan deze voorwaarden kan worden voldaan. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de prognoses berusten op oriënterende berekeningen.

Gesteld kan worden dat bij gelijkblijvende zoetwaterbelasting, een kleiner getijverschil leidt tot verlaging van het gemiddelde chloridegehalte.

Reductie van het horizontale getij heeft tenslotte ook invloed op de watertemperatuur. De afname van de stromingen heeft tot gevolg dat de temperatuurvariatie in het bekken groter wordt: 's zomers zal het water warmer en 's winters kouder zijn dan in de huidige toestand. In kwantitatieve zin is hierover echter geen informatie beschikbaar.

#### 3.2.4. De verandering van het milieu onder invloed van de reductie van het getij

In het voorgaande is betoogd dat de reductie van het getij veranderingen in het milieu van de Oosterschelde te weeg zal brengen. Het is echter moeilijk een uitspraak te doen over de mate van verandering. Wel staat vast dat die toeneemt naarmate het getijverschil kleiner wordt, zij het dat hierbij ten aanzien van de biomassa van het intergetijdegebied enig voorbehoud gemaakt dient te worden. Om de huidige milieuwaarden te behouden, althans zo min mogelijk te wijzigen, moet een zo groot mogelijk getij worden ingesteld. Zoals uit hoofdstuk 4 volgt, is het getijverschil op het bekken bij een doorstroomprofiel van de stormvloedkering van 20.000 m<sup>2</sup> ca. 90 % van het huidige, terwijl een doorstroomprofiel van ca. 11.500 m<sup>2</sup>

een reductie tot ca. 65 % van het huidige betekent en een getijverschil van 2,3 m te Yerseke oplevert.

### 3.2.5. Stagnantie

Bij zware stormen wordt de Oosterschelde tijdelijk geheel afgesloten. Het milieu ondervindt bij lange stagnantieduur schade. Wel is de ene waterstand op het afgesloten bekken minder ongunstig dan de andere.

Langdurige overspoeling, hoge waterstand, heeft een negatief effect op de flora en fauna van de hoger gelegen gebieden, beperkt het voedselareaal voor vogels en kan daardoor invloed hebben op de populatie, die in het gebied kan verkeren. Door het wegvallen van de getijdestromen treedt sedimentatie op in de diepere delen van het bekken.

In het groeiseizoen zal dit sedimentatiemateriaal veel organische bestanddelen bevatten, die bij verrotting veel zuurstof gebruiken. Dit kan ongunstige gevolgen hebben voor de bodemdieren en daarmee voor het voedselaanbod voor vissen. Langdurige stagnantie kan ernstige golferosie van de schorranden veroorzaken, wanneer het peil ongeveer overeenkomt met de onderkant van de schorgrens.

Wat het milieu betreft bestaat daarom voorkeur voor een peil van N.A.P. tot N.A.P. +0,4 m aan de binnenzijde van de gesloten kering. Een stagnante periode van maximaal 4 getijden in het groeiseizoen en van 10 getijden buiten het groeiseizoen levert geen ernstige schade op.

## 3.3.. MORFOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN

### 3.3.1. Inleiding

Na de afsluiting van de Oosterschelde door middel van een stormvloedkering zal de hydrografische situatie in het Oosterscheldebekken en in het aangrenzende kustgebied gaan veranderen enerzijds als gevolg van het gewijzigde getijregiem, anderzijds door het wegvallen van hoge stormvloeden en de daarmee gepaard gaande wijzigingen van de golfbeweging in het Oosterscheldebekken.

Deze wijzigingen zullen tot gevolg hebben dat er veranderingen gaan optreden in het huidige erosie- en sedimentatieproces. In het gehele Oosterscheldebekken overheerst, tot in de mond, thans de erosie. Zeewaarts van de mond vindt verdere uitbouw van de onderwaterdelta plaats; daar overheerst dus de sedimentatie. In kort bestek zullen de te verwachten morfologische veranderingen in grote lijnen worden aangegeven, uitgaande van de gegevens die begin 1976 beschikbaar waren. Een aantal uitspraken is gebaseerd op de resultaten van ééndimensionaal rekenkundig getijmodel, waarin gerekend werd met een Oosterscheldebekken met stormvloedkering en compartimentering volgens model C3. In dit getijmodel worden de toekomstige grootte-veranderingen van de waterhoogten, de debieten en de stroomsnelheden weergegeven, echter zonder rekening te houden met de toekomstige richtingsveranderingen van de stroming. Twee dimensionaal getijonderzoek kan hier meer inzicht geven. Het voorspellen van morfologische veranderingen, in een zee-arm als de Oosterschelde, is ook zonder dat de mens in de ontwikkeling van het bekken ingrijpt, een moeilijke zaak vanwege de grote dynamiek die er heerst. Ook als het bekken in evenwicht is zullen er geulverleggingen kunnen plaatsvinden met mogelijk daarmee gepaard gaande aantastingen van de oevers. Het is daarbij dikwijls moeilijk om een duidelijk oorzakelijk verband aan te geven.

### 3.3.2. Ontwikkeling tot heden

De morfologische ontwikkeling gedurende de laatste eeuw heeft duidelijk in het teken gestaan van een toename van het getijvolume in de mond van de Oosterschelde.

De vergroting van het getijvolume is in hoofdzaak ontstaan door de voortdurende kunstmatige verruiming van het binnenwaarts gelegen gedeelte van het bekken - het traject Krammer-Volkerak-Hellegat-Hollandsch Diep-Nieuwe Merwede-Amer-Biesbosch-, onder andere door de volgende werken: doorgraving Amer-Bergsche Maas (1904); verruiming Nieuwe Merwede (1920-1930); aanleg Hellegatdam (1931); op de meeste rivieren baggerwerken ten behoeve van de scheepvaart; Grevelingenafsluiting (1962 zuid en 1964 noord); Volkerakafsluiting (1969);

aanleg Schelde-Rijnverbinding (1975).

Het getij drong door deze verruiming steeds verder door naar boven, hetgeen geleid heeft tot vergroting van het getijvolume in de mond van de Oosterschelde.

In het algemeen past het profieloppervlak zich in zandige bodems aan bij het getijvolume. Voor de zeearmen in het Delta-gebied geldt bij een evenwichtstoestand dat het quotiënt van het getijvolume en het profieloppervlak een nagenoeg constante waarde heeft.

De beide grote stroomgeulen Westgat (Hammen) en Roompot zijn zeewaarts van het damtracé gedurende de laatste eeuw niet in aanzienlijke mate van ligging veranderd. Waar de toenemende getijstroom meer naar binnen toe ruimte had om de geul in de richting van de oevers te verplaatsen zijn echter wel geulverleggingen opgetreden, die gepaard gingen met verdiepingen van de geulen en ophoging van de platen. Zo ontstond ook tussen de beide hoofdgeulen Roompot en Westgat een breder en hoger gelegen bankengebied.

### 3.3.3. Ontwikkelingen na de aanleg van de stormvloedkering

In 3.3.2. werd al gesteld dat de geulprofielen zich aanpassen aan het getijvolume. Bij een stormvloedkering met een gemiddeld getijverschil van ca. 2,3 m te Yerseke (profiel ca. 11.500 m<sup>2</sup>) of van ca. 3,1 m (profiel ca. 20.000 m<sup>2</sup>) en compartimentering C3, wordt het getijvolume met ca. 45 % respectievelijk ca. 30 % gereduceerd. Het bekken zal dan streven naar een verondieping, en de geulprofielen zullen in dezelfde mate afnemen. Indien men zou aannemen dat de breedte der geulen niet verandert, dan zou de diepte dus afnemen met ca. 45 % respectievelijk ca. 30 %. Een dergelijke verondieping zal zeker vele decennia mogelijk zelfs enige eeuwen in beslag nemen. Uit getijberekeningen met verondiepte geulen blijkt dat de getijvolumina en waterhoogten van dit verondiepingsproces nauwelijks invloed zullen ondervinden.

### Sedimentatie

De verondieping van de bodem komt tot stand door twee processen nl. slib- en zandsedimentatie.

In vergelijking met de huidige toestand zal het gebied waar slibsedimentatie optreedt zich naar het westen uitbreiden en zal de opslibbing zelf ook toenemen (fig. 4). De verhoogde slibsedimentatie zal voornamelijk tot uiting komen in opslibbing van die geulen waar de stroomsnelheden zo laag zijn dat het afgezette slib niet meer geërodeerd wordt. Dit zal het geval zijn in het Keeten, Mastgat, Zijpe, Krabbegat, Tholense Gat en daarnaast ook, doch in mindere mate, in de verbindingsgeulen tussen de hoofdgeulen ter hoogte van de lijn Colijnsplaat - Stavenisse.

De zandsedimentatie zal zich vooral manifesteren in de geulen ter weerszijden van de stormvloedkering.

De sedimentatie verder naar binnen zal in eerste instantie overwegend uit slib bestaan en uit zand dat door afkalving van de platen in de geulen tot afzetting komt. Plaatselijk zullen de diepe delen van de geulen enige decimeters per jaar kunnen verondiepen.

#### Geulenpatroon

Tengevolge van de vermindering van de stroomsnelheden in de geulen van het Oosterscheldebekken zal in de bochten een afname van de zogenaamde spiraalstroming optreden waardoor minder of zelfs geen zand meer van de buitenbocht naar de binnenbocht zal worden getransporteerd.

Het is mogelijk dat het materiaal dat bijvoorbeeld door afkalving van de plaatranden onder invloed van golfwerking naar de diepere delen van de geul wordt getransporteerd daar na de bouw van de stormvloedkering blijft, en niet meer door spiraalstromingen teruggevoerd wordt. Dit zal dan resulteren in opzanding van de buitenbocht en afname van de plaat in de binnenbocht.

Als gevolg hiervan mag verwacht worden dat er een bepaalde nivellering van geulen en banken zal optreden.

De kennis betreffende de verschillende mechanismen die een rol spelen bij het meanderproces van de geulen is nog te beperkt om te verwachten dat hierover enige kwantitatieve uitspraken mogelijk zijn in de nabije toekomst. Verandering van de getijbeweging kan tot gevolg hebben dat er andere verhangen tussen

de verschillende geulen optreden, waardoor sommige geulen in vergelijking met thans relatief meer of minder stroom gaan voeren, met als mogelijk gevolg geulverleggingen. Bovendien zullen de maximale stroomsnelheden zowel bij eb als bij vloed meer gaan samenvallen met de gemiddelde waterstand, zodat het verschil tussen de stroming die door een geul trekt bij eb en bij vloed, geringer wordt, hetgeen tot veranderingen kan leiden in het patroon van eb- en vloedscharen. Dit laatste kan ook veroorzaakt worden door een wijziging in de eb- en vloedduur op het bekken, hetgeen het geval is bij een stormvloedkering met een hooggelegen doorstroomopening, waarbij de vloedduur korter en de ebduur langer wordt.

#### Buitendelta

Ten gevolge van de veranderingen in het getijregiem van de kust kan de onderwaterdelta mogelijk steiler worden door verdieping van het zeewaarts gelegen gedeelte en verontdieping van het kustwaarts gelegen gedeelte; dit verschijnsel doet zich ook reeds voor in de mond van het Haringvliet en het Brouwershavense Gat.

De verandering van de onderwaterdelta zal waarschijnlijk langzamer verlopen bij handhaving van een gereduceerd getij dan bij volledige sluiting.

Ook hierbij zullen de resultaten van tweedimensionaal getijonderzoek aanvullende gegevens kunnen verstrekken. Het materiaal dat van de onderwaterdelta zal worden geërodeerd, zal tengevolge van de vermindering van de stroomsnelheden deels sedimenteren in de huidige getijdegeulen voor de mond.

Bij het opzanden van deze geulen zullen de stroomsnelheden weer gaan toenemen, waarna de sedimentatiezone zal verschuiven in de richting van het bekken.

Aanvankelijk zal echter relatief weinig zand naar binnen gevoerd worden, hetgeen sterker geldt naarmate de opening van de stormvloedkering hoger gelegen is.

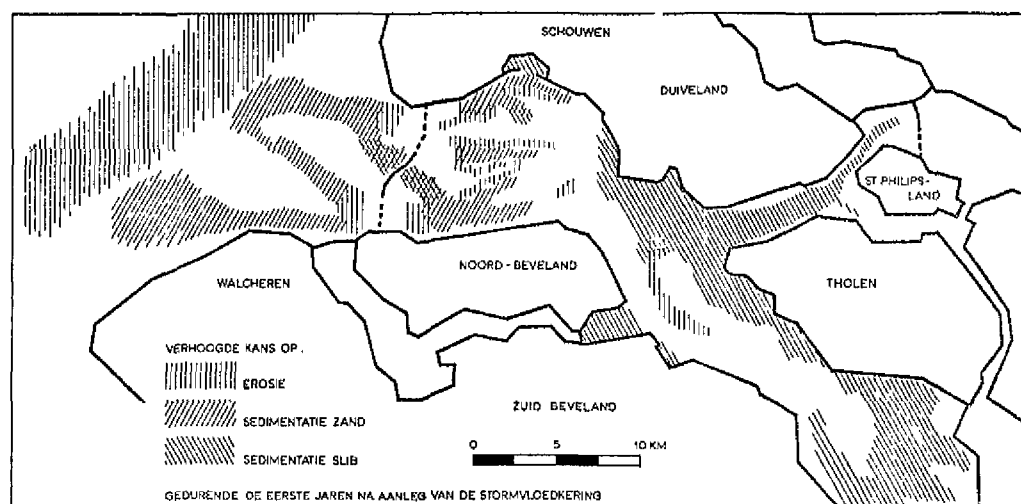


Fig. 4

Erosie- en sedimentatiegebieden  
Oosterscheldebekken

#### 3.3.4. Stabiliteit van de oevers

##### Stroomaanval

Vergelijkt men de vloodsnelheden en de ebsnelheden in de nieuwe toestand met die van de huidige toestand, dan blijkt dat deze snelheden vrijwel in het gehele Oosterscheldebekken sterk zullen afnemen, behoudens in de doorstroomopening van het kunstwerk en in de naaste omgeving ervan.

Daar het sedimenttransport met een macht van snelheid toeneemt mag in het algemeen verwacht worden dat de getijstromen de vooroevers veel minder sterk zullen aantasten.

Ten gevolge van eventuele faseverschillen van het getij in de verschillende geulen en als gevolg van een mogelijke aanpassing van de meandervorm, kunnen echter geulverleggingen optreden. Daarnaast is het mogelijk dat oevers die aan een buitenbocht van een meander liggen minder aan erosie onderhevig zullen zijn dan onder de huidige omstandigheden, de kans bestaat daarentegen dat bij de binnenbocht oevererosie gaat optreden. Het zand dat bij geulverleggingen sedimenteert is losgepakt en daardoor gevoelig voor zettingsvloeiingen.

Wanneer dan plaatselijk stabiliteitsverlies optreedt, kan daarmee een oever- of plaatval ingeleid worden. Verder geldt dat de golfaanval zich op een kleinere oeverzone gaat concentreren, omdat het getijverschil afneemt.

Ondanks het afnemen van de bodemaantasting ten gevolge van getijstromen zullen door eventuele geulverleggingen en door wijzigingen in het golfaanvalspatroon additionele bezinkingen en/of bestortingen nodig zijn. Tevens moeten teenbestortingen worden verbeterd en taludverdedigingen aangepast.

Bij de verdere uitwerking van het ontwerp zal met betrekking tot dit aspect dan ook nadere studie nodig zijn.

### 3.4. COMPARTIMENTERING

#### 3.4.1. Noodzaak en mogelijkheden

Als het Oosterscheldebekken door de bouw van een stormvloedkering een zout getijwater blijft, is compartimentering van het bekken noodzakelijk om:

- de getijbeweging buiten de Schelde-Rijnverbinding te houden,
- een relatief zoet bufferbekken te vormen tussen de zoute Oosterschelde en het zoete Haringvliet.

Ten behoeve van een juiste afweging van de technische, planologische en financiële aspecten van de verschillende compartimenteringsmogelijkheden werd op 20 december 1974 de Commissie Compartimentering Oosterschelde ingesteld.

Bij haar rapport aan de Minister, gedateerd 14 april 1975, presenteert deze commissie als meest reële alternatieven:

- model C1 - met Oesterdam en scheidingsdam vanaf de Volkeraksluizen tot de monding van de Eendracht;
- model C3 - aangepast kanaal door Zuid-Beveland met Oesterdam en Philipsdam;
- model C3 - kanaal bij Krabbendijke met Oesterdam en Philipsdam;
- model C3 - kanaal bij Rilland met Oesterdam en Philipsdam.

#### 3.4.2. Keuze

Na raadpleging van de betrokken provincies, de Raad van de Waterstaat en de Rijksplanologische Dienst, besloot de Regering



op 30 december 1975 dat het Oosterscheldebekken in geval van de bouw van een stormvloedkering zal worden gecompartmenteerd volgens model C3 met aangepast kanaal door Zuid-Beveland. Model C3 impliceert de bouw van de Oesterdam, lopend van Tholen naar Zuid-Beveland parallel aan de Schelde-Rijnverbinding. In deze dam moet een scheepvaartsluis met een zout/zoet bestrijdingssysteem worden opgenomen ten behoeve van de scheepvaart op Bergen op Zoom.

Model C3 schrijft ook een dam met zout/zoet scheidingssluizen voor tussen de Grevelingendam en St. Philipsland.

Tenslotte moet volgens dit model aanpassing van het kanaal door Zuid-Beveland plaatsvinden ten behoeve van de scheepvaart van en naar Gent en Terneuzen. Het kanaal komt daardoor in open verbinding met de Oosterschelde.

Een van de gevolgen daarvan zal zijn dat de getijbeweging van de Oosterschelde op het kanaal doordringt.

#### 3.4.3. Compartmentering volgens model C4

Het in een eerder stadium als een mogelijk alternatief beschouwd compartimenteringsmodel C4 met Wemeldingedam en Philipsdam wordt verworpen aangezien het aanzienlijk minder voldoet aan de doelstelling van de regering bij haar beslissing tot de bouw van een stormvloedkering, namelijk het behoud van een zo groot mogelijk deel van de huidige natuurwaarden.

Wel is door de Rijksplanologische Commissie gesteld dat herbezinning op de compartimentering gewenst is indien één van de ontbindende voorwaarden in zou gaan als gevolg van het aanbevolen en door de regering gekozen compartimenteringsmodel. Gedacht werd hierbij aan het feit dat realisering van model C4 de stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde aanzienlijk goedkoper zou maken, omdat de kering bij dit model een veel geringer doorstroomprofiel kan hebben.

In 4.4. wordt hier nader op ingegaan.

#### 3.4.4. Tijdstip aanleg compartimenteringsdammen

De stormvloedkering zal demping van het getij in het Oosterscheldebekken veroorzaken, waardoor ter plaatse van de sluizen in het Volkerak zowel het zoutbezwaar op het zoete Haringvliet-

bekken als de zoetwatersverspreiding op het zoute Oosterscheldebekken zal toenemen. Daarom zou het ongewenst zijn als de compartimenteringsdammen pas geruime tijd na de realisering van de stormvloedkering zouden worden gesloten, temeer daar de getijddamping dan nog groter is dan na compartimentering. Sluit men de compartimenteringsdammen terwijl de Oosterschelde nog open is dan nemen de stormvloedstanden op het bekken met enkele decimeters toe.

Dat is ongewenst en de compartimenteringsdammen moeten dan ook niet geruime tijd voor de realisering van de stormvloedkering worden gesloten.

Alle argumenten resulteren in de wens de compartimenteringsdammen te sluiten in hetzelfde seizoen waarin de stormvloedkeringklaarkomt, hetgeen technisch ook mogelijk blijkt te zijn. De regering maakt van deze wens een ontbindende voorwaarde voor de realisering van het plan, de Oosterschelde te beveiligen door middel van een stormvloedkering.

De relatie tussen compartimenteringsdammen en de stormvloedkering zal in 4.4. nader uitgewerkt worden.

## Hoofdstuk 4

### RANDVOORWAARDEN EN UITGANGSPUNTEN VOOR DE ONTWERPEN

#### 4.1. HYDRAULISCHE ASPECTEN

##### 4.1.1. Inleiding

Om een gemiddeld getijverschil van 2,3 m achterin het volgens compartimenteringsmodel C3 verkleinde bekken te realiseren is een doorstroomprofiel nodig dat nog slechts circa 15% van het oorspronkelijke profiel bedraagt, terwijl de verticale getijbeweging dan nog ca. 65% van de oorspronkelijke is (fig. 5).

Dit betekent dat een grote hoeveelheid water door een klein gat moet stromen, wat natuurlijk gepaard gaat met hoge snelheden, namelijk zo'n 5 m/sec bij gemiddelde omstandigheden.

Bij een doorstroomprofiel van  $20.000 \text{ m}^2$  dat behoort bij een gemiddeld getijverschil van ca. 3,1 m zijn deze snelheden wat kleiner, namelijk ongeveer 4 m/sec en bij een profiel van  $30.000 \text{ m}^2$ , behorend bij een gemiddeld getijverschil van ca. 3,5 m nemen ze af tot ongeveer 3 m/sec. Ter vergelijking zij opgemerkt dat in de huidige situatie, de snelheden bij een gemiddeld getij, afhankelijk van de geul (Roompot, Hammen, Schaar), ca 1,3 m à 1,5 m bedragen. Bij springtij of doodtij liggen deze snelheden gemiddeld ca 10 à 15% hoger respectievelijk lager.

In fig. 6 is te zien hoe de stroomsnelheid in de kering toeneemt naarmate men het profiel in de monding verder vernauwt.

Doordat de geulprofielen aan weerszijden van de kering gelijk blijven aan de tegenwoordige, maar het debiet afneemt, neemt ook de snelheid aan weerszijden van de kering af.

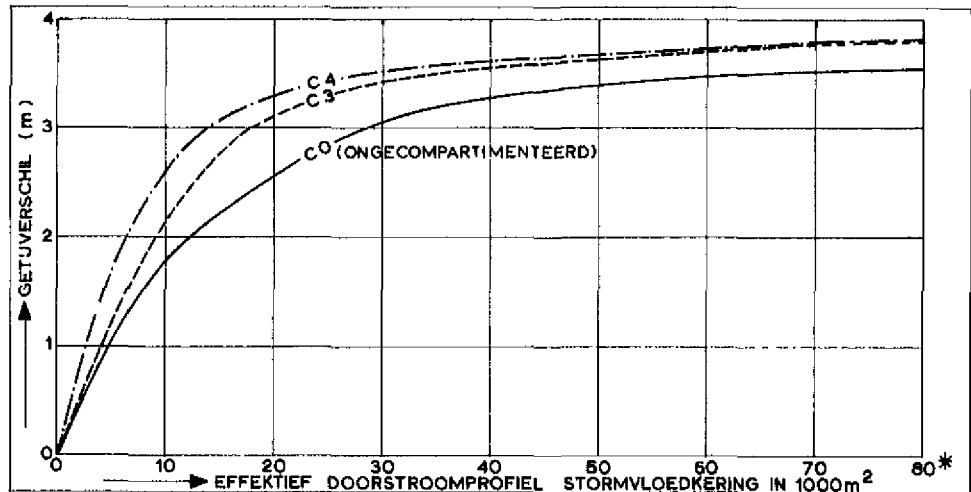


fig.5

Verband tussen doorstroomprofiel en getijverschil bij een gemiddeld getij. (Voor C0 en C3: bij Yerseke, voor C4: bij Wemeldinge).

\* Doorstroomprofiel overeenkomend met de huidige situatie.

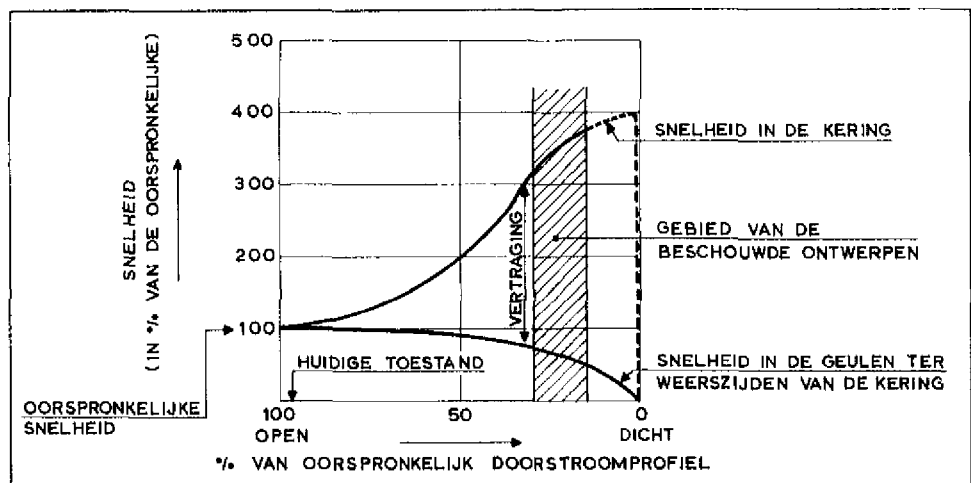


fig.6

Verband tussen de stroomsnelheid in en achter de stormvloedkering en de profielvernauwing.

Het verschil tussen de hoge snelheden in de kering en de lage er vlak achter, wordt dus steeds groter, naarmate het profiel in de mond kleiner wordt.

De vertraging die de stroom moet ondergaan bij het uitstromen, neemt dan ook toe naarmate men het sluitgat vernauwt. Vertraging gaat gepaard met energieomzetting(-vernietiging); bewegingsenergie wordt omgezet in potentiële energie, warmte en turbulentie.

Een onmiddellijk gevolg van de toenemende turbulentie is, dat de stroom steeds meer zand kan opnemen en meevoeren, hetgeen erosie tot gevolg heeft aan weerszijden van de kering. Om deze erosie, oftewel de ontgrondingen te beperken wordt op het zand een bodembescherming aangebracht.

De energieomzetting en daarmee ook min of meer de aanval op de bodem, is evenredig met het produkt van het verval over en het debiet door de constructie.

In fig.7 is dit in beeld gebracht door debiet, verval en energieomzetting voor te stellen als functies van de profielvernauwing in de oorspronkelijke geul. De top van de energieomzetting vormt bij de normale afsluiting van een getijgeul, een van de meest kritieke fasen. Daarom zorgt men ervoor dat dit zo kort mogelijk duurt. Het feit nu dat deze fase bij de stormvloedkering permanent zal zijn, vormt één van de hydraulische hoofdproblemen.

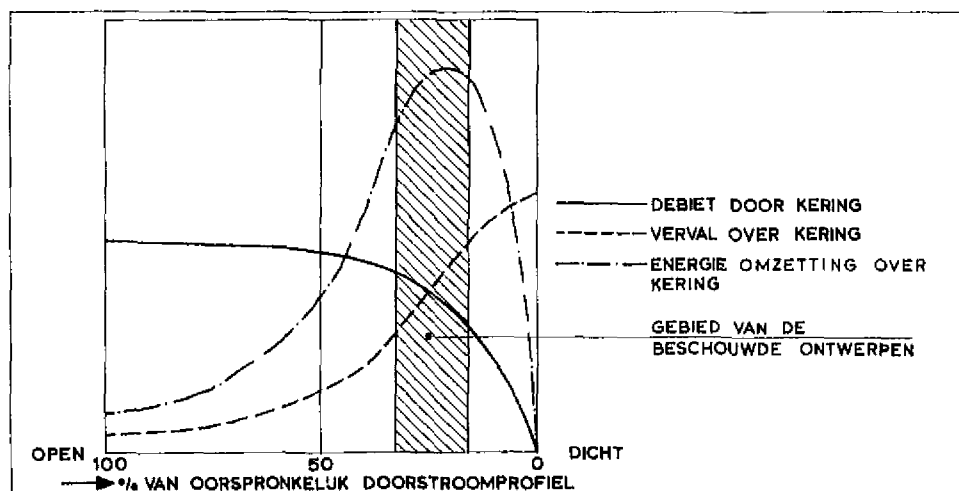


fig.7

Energieomzetting door de stormvloedkering als functie van profielvernauwing.

Een tweede hoofdprobleem vormt de afdichting. Bij storm staat de kering als een muur op of in het zand. Onder invloed van het waterstandsverschil en de golven stroomt er water door het zand onder de muur. Hierbij bestaat het gevaar dat het zand van de ondergrond meegenomen wordt door het water; als dat gebeurt kan het kunstwerk ondergraven worden.

Vroegere afsluitingen vormden slechts een tijdelijke kering die ingepakt werd in een breed zandlichaam. Ook in dit geval worden door het permanente karakter van de constructie hogere eisen gesteld.

Een combinatie van beide problemen ontstaat wanneer bij storm, om wat voor reden dan ook, een schuif niet gesloten wordt. De bodembescherming wordt dan lokaal zeer zwaar aangevallen door de vertragende stroom, terwijl de stroming door het zand onder de kering onverminderd aanwezig is.

#### 4.1.2. Het doorstroomprofiel

##### De eindfase

Zoals in hoofdstuk 2 werd gezegd, is als uitgangspunt voor de bepaling van het doorstroomprofiel een gemiddeld getijverschil van minimaal 2,3 m bij Yerseke aangenomen. Uit fig. 5 volgt dat een profiel van  $11.500 \text{ m}^2$  nodig is. Dit berust op een berekening die uitgevoerd is met het gemeten getij van 11-09-'68 als randvoorwaarde, hetgeen ongeveer overeenkomt met gemiddeld getij. Later zijn berekeningen uitgevoerd met een getijrandvoorwaarde die een gemiddelde is van vele jaren. Op grond van die berekening zou een profiel van  $10.000 \text{ m}^2$  voldoende zijn om het gewenste getijverschil te realiseren. Het is de vraag of een gemiddeld getij op zee representatief is voor het gemiddeld getij op het bekken na het aanbrengen van de weerstand die de kering vormt. Dit wordt momenteel nagegaan door een representatieve steekproef te nemen uit de mogelijke randvoorwaarden en vervolgens na te gaan wat het gemiddeld getij in Yerseke zal worden. Voorlopig wordt nog uitgegaan van een effectief profiel van  $11.500 \text{ m}^2$ .

Het effectieve doorstroomprofiel is het fysische profiel vermenigvuldigd met een afvoercoëfficiënt. De afvoercoëfficiënt moet dus bekend zijn om de werkelijke opening die in de constructie gemaakt moet worden te kunnen bepalen. Dit gebeurt door middel van modelonderzoek. Door het grote aantal mogelijke combinaties van constructietypen en sluitgatvormen, is het onderzoek tot nu toe slechts oriënterend geweest.

#### De plaatsingsfase

Wanneer de elementen van de stormvloedkering reeds bij de plaatsing hun definitieve profiel zouden hebben, treden tijdens het plaatsen van de laatste elementen snelheden op van ongeveer 5 m/sec. Dit levert onoverkomelijke problemen op. Daarom wordt bij de plaatsing naar een zo ruim mogelijk doorstroomprofiel gestreefd.

Na de plaatsing worden de openingen dan gereduceerd tot hun definitieve grootte. Het plaatsingsprofiel wordt in de meeste oplossingen teruggebracht tot het eindprofiel door het aanbrengen van betonnen balken, die relatief eenvoudig te plaatsen zijn.

Enkele factoren pleiten voor een zo ruim mogelijk profiel bij plaatsing. Het zijn met name de krachten die optreden bij het in positie brengen van de elementen, de stabiliteit van de bestortingen en de toelaatbare ontgrondingen.

Enkele andere factoren beperken de grootte van het profiel in de plaatsingsfase echter. De voornaamste daarvan is het feit dat de constructies en de fundering bepaalde minimale afmetingen hebben, in verband met de op te nemen krachten. Het profiel kan door baggerwerk kunstmatig vergroot worden. De ingebaggerde delen zullen tijdens de bouw voortdurend aanzanden, waardoor de drempelopbouw beïnvloed wordt (zie 6.2.).

#### 4.1.3. Ontgrondingen en bodembescherming

Zoals in de inleiding van dit hoofdstuk reeds is gezegd, zal bij de stormvloedkering één van de kritieke situaties

die optreden bij een normale afsluiting, permanent aanwezig zijn. Dit maakt een uitgebreide bodembescherming en een zorgvuldige vormgeving van het kunstwerk noodzakelijk. Daardoor kan de stromingstoestand aan de rand van de bescherming zodanig worden dat het ontgrondingsproces een aanvaardbaar verloop krijgt.

Het onderzoek is in eerste instantie kwalitatief geweest, als hulpmiddel bij de algemene vormgeving. Daarbij bleek al snel dat een goede spreiding van de onvermijdelijke energievernietiging over de kering een gunstige invloed heeft op de ontgrondingen.

De beste oplossing leek te zijn over een zo groot mogelijk deel van het geulprofiel roosterschuiven aan te brengen (zie 6.8 en fig. 32).

Daardoor wordt de energievernietiging zowel in de breedte als in de hoogte gespreid. Het leek dan zelfs niet nodig de reeds aanwezige bodembescherming van 200 à 250 m aan weerszijden van de kering nog verder uit te breiden. Door de goede vormgeving van de kering is echter niet de eindfase maatgevend voor de afmetingen van de bodembescherming, maar de tijdens de bouw van de kering optredende ontgrondingen. In de bouwfase is een ongeveer twee maal zo lange bodembescherming nodig, als in de eindfase.

Om andere dan hydraulische redenen zijn de roosterschuiven toch verlaten (zie 6.8). Het uiteindelijk gekozen "brievenbus" profiel (zie 4.3) benadert redelijk de spreiding die bereikt wordt met roosterschuiven.

Een factor bij het ontgrondingsproces die niet in de modellen gereproduceerd wordt, is het van nature aanwezige zandtransport dat een reducerende werking op de erosie heeft. In de eindfase is het zandtransport gering, zodat het de totale ontgrondingsdiepte niet beïnvloedt. Wel wordt de ontwikkeling van de ontgrondingskuilen in de tijd erdoor beïnvloed. De invloed van het zandtransport werd zo goed mogelijk rekenkundig verwerkt.

De met het natuurlijke zandtransport samenhangende morfologische ontwikkelingen worden dus ook niet in het hydraulisch



model weergegeven. De enige mogelijkheid om de morfologische ontwikkeling te verdisconteren lijkt het invoeren in het hydraulisch model van een veronderstelde bodemligging in 1985. Gezien de onzekerheid van zo'n voorspelling, zal moeten worden nagegaan hoe gevoelig de eindtoestand is voor een bepaalde bodemligging.

De randvoorwaarden voor de bepaling van de lengte van de bodembescherming komen voort uit grondmechanische overwegingen; ze betreffen onder meer de maximaal aanvaardbare diepte van de ontgrondingskuil, de kuilhelling en de snelheid van ontgronden.

Uitgaande van deze randvoorwaarden is een uitgebreid onderzoek nodig voor de definitieve vaststelling van de benodigde lengte aan bodembescherming bij een gekozen constructie en sluitgatvorm.

Tijdens de afgelopen studieperiode bedroeg het aantal combinaties van constructies en sluitgaten vele tientallen; de resultaten dragen daardoor een voorlopig karakter.

#### 4.1.4. Stortebedden

Ter weerszijden van de kering treden hoge snelheden op. In de directe omgeving van de kering moet de bescherming dan ook zwaar uitgevoerd worden, om stroombestendig te zijn. Bij ontgroningen bepaalt de dagelijks door de kering trekkende getijstroom het erosieproces. Maar of een bescherming stroombestendig is, wordt niet zozeer bepaald door langdurige processen als wel door extreme omstandigheden. Daarbij kan gedacht worden aan een extreem springtij, aan een zomerstorm waarbij de kering open blijft, of aan het sluiten van de schuiven bij een opkomende storm, waarbij de snelheden hoog oplopen. De zwaarst denkbare belasting treedt echter op wanneer de kering gesloten wordt op de LW-kentering die voorafgaat aan een storm terwijl één of enkele schuiven niet of slechts gedeeltelijk dichtgaan.

De stortebedden worden dan lokaal aangevallen door een stroom, veroorzaakt door 6 à 7 m verval plus de aanwezige golfbeweging. Dit geldt voor de Oosterscheldezijde. Aan de zee-zijde ligt de situatie gunstiger. De voor de stroombestendigheid van de bodembescherming bepalende extreme om-

standigheden zijn daar: de golfwerking bij gesloten kering, het verval van de Oosterschelde naar zee terwijl één schuif open is, of het omgekeerde geval, namelijk dat na een storm alle schuiven geheven zijn op één na.

Een zeer stroomresistente bodembescherming kan verkregen worden met behulp van een asfaltconstructie. Doordat asfalt waterdicht is, wordt hiermee een nieuw probleem geïntroduceerd: bij een verval over de kering kan de bodembescherming opgedrukt worden door het onder de kering doordringende water (zie fig.8).

Om dit te weerstaan zal de bodembescherming voldoende gewicht moeten hebben.

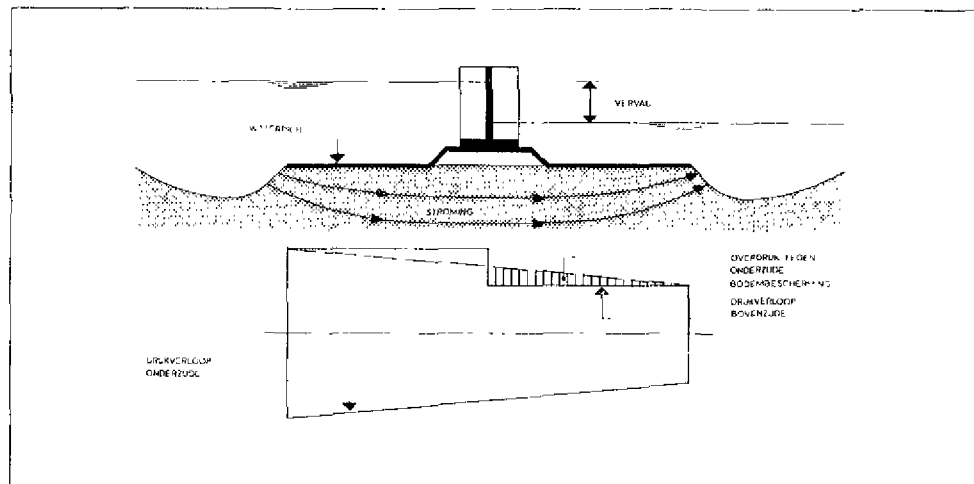


fig.8

Geschematiseerd verloop over-  
druk tegen onderzijde bodembe-  
scherming bij verval overkering.

#### 4.1.5. De afdichting

Zoals reeds in de inleiding werd gezegd, bestaat het gevaar dat het onder de kering doorstromende water zand meeneemt, waardoor verzakkingen kunnen optreden. Ook hier geldt weer dat extreme omstandigheden het ontwerp bepalen.

De situatie waarbij de kering gesloten is en het verval zowel als de golfbeweging maximaal zijn, is maatgevend. Over de voet van de kering staat dan een drukverschil van meer dan 10 m waterkolom.

Zou bijvoorbeeld een kering van enkele meters dik direct op de zandige bodem rusten, dan zou erosie onvermijdelijk zijn (fig.9a).

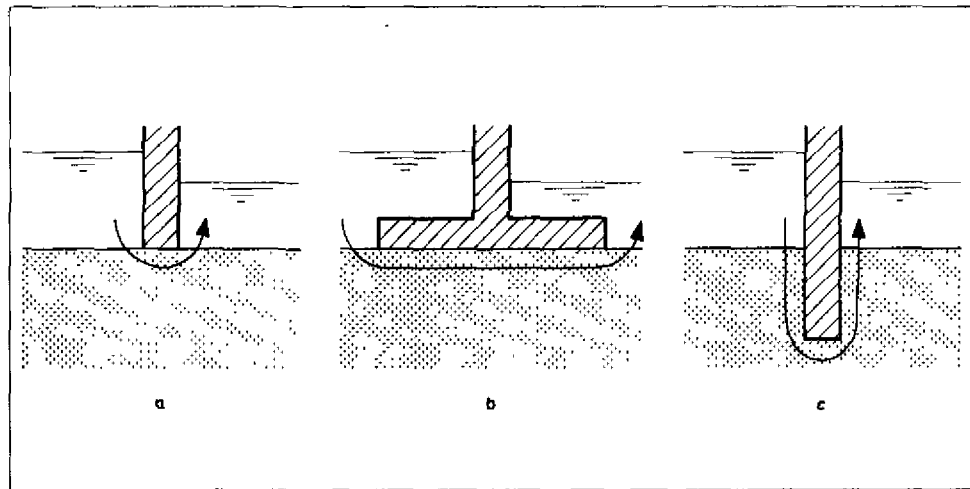


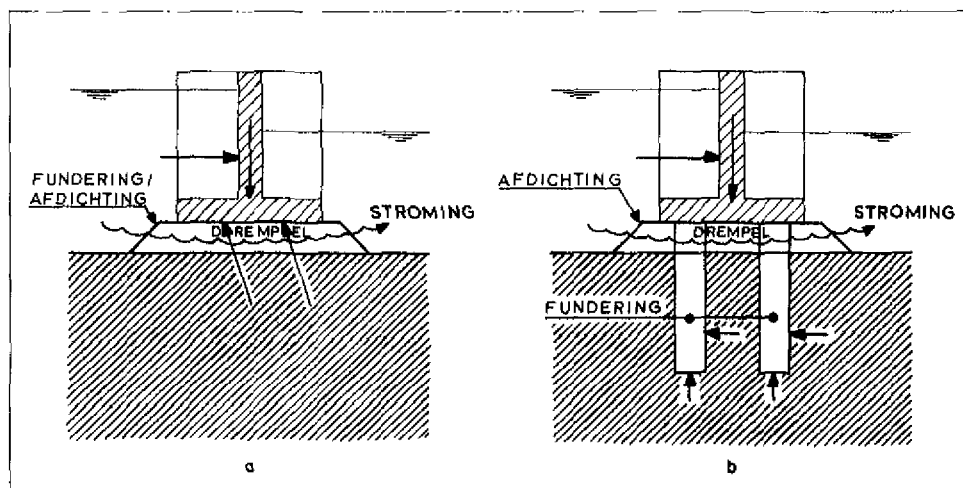
fig.9

Verschillende vormen van onderloopsheid als gevolg van de vormgeving van de kering.

Er staan twee principiëel verschillende wegen open om deze erosie te voorkomen. De eerste is om het drukverschil horizontaal te spreiden (fig.9b). Bij caissons bijvoorbeeld wordt het drukverschil over ca. 50 meter gespreid; er treedt dan echter nog steeds erosie op. Om dit te voorkomen worden de caissons op een filterconstructie geplaatst, die verhindert dat er zand meegenomen wordt.

De tweede mogelijkheid om erosie te voorkomen is verticale spreiding van het drukverschil (fig.9c). De "muur" moet dan zo diep in het zand steken, dat de stroom aan de benedenstroomse zijde geen zand meer kan oplichten.

Ten aanzien van de afdichting is er een fundamenteel verschil tussen een kering op staal of op palen of putten. Bij caissons op staal vormt de drempel zowel de fundering als het afdichtende filter. Erosie onder de kering tast dus meteen de vormvastheid aan (fig.10a).



Fundering op staal

Fundering op palen fig. 10  
Functie van drempel als funde-  
ring c.q. afdichting

Bij caissons of pijlers op putten zijn fundering en afdichting functioneel gescheiden (fig. 10b). De putten steken echter wel door de afdichting heen, waardoor die plaatselijk verstoord wordt. Dit maakt dat de kans op erosie bij een kering op putten groter is, maar de gevolgen ervan aanmerkelijk geringer.

#### 4.1.6. De belasting op de kering

##### Gesloten kering

De kering als geheel krijgt de grootste belasting te verduren in gesloten toestand. Wanneer de schuiven gesloten worden op LW-kentering voorafgaande aan de maatgevende storm, waarbij een waterstand optreedt met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van  $2,5 \times 10^{-4}$  per jaar, bedraagt het verval over de kering ca. 7 m. Daarbij komt de belasting ten gevolge van golven.

Er is onvoldoende statistisch materiaal beschikbaar met betrekking tot de golfbeweging in de mond van de Oosterschelde om te kunnen bepalen welke golven er bij de bepalende ontwerpomstandigheden zullen optreden.

Daarom wordt gewerkt met een empirische relatie tussen de waterstand en de mogelijke golfhoogte. Door het voor de Oosterscheldemond aanwezige bankengebied wordt de golfdoordringing vanuit de Noordzee enigszins beperkt. Op grond van deze geëxtrapoleerde relatie is tot nu toe gewerkt met een significante golfhoogte van 4,5 m. Recente analyse van deze randvoorwaarde leidt ertoe dat voor de Roompot een waarde van ca 5 m aangehouden moet worden.

Voor een definitief ontwerp zal met name het onderzoek naar de golfrandvoorwaarden geïntensiveerd moeten worden, waarbij speciaal gelet moet worden op het gecombineerde effect van waterstanden en golven. Doel van zo'n onderzoek zou zijn na te gaan of de ontwerpwaterstand met bijbehorende golven ook werkelijk de maatgevende belasting levert.

Een speciale vorm van golfbelasting wordt gevormd door golfklappen. Dit zijn zeer kortdurende belastingen als gevolg van de botsing van een golf met de constructie. Vooral een brekende golf kan een krachtige golfklap uitdelen. Door de geometrie van de constructie en de relatief grote waterdiepte is het gevaar hiervoor niet groot. Voor de stabiliteit van de kering als geheel zijn de golfklappen overigens niet maatgevend. Bij de dimensionering van onderdelen van de constructie, met name de schuiven, moet deze vorm van belasting wel in rekening gebracht worden.

#### Sluiting van de kering

Een belangrijk belastingsgeval voor de schuiven en de bijbehorende bewegingswerken is het sluiten van de kering bij opkomende storm; dan staat er namelijk tijdens het bewegen een verval over de schuiven. Dit verval drukt de schuiven tegen de sponningswanden, waardoor grote wrijvingskrachten moeten worden overwonnen.

De grootte van het verval wordt enerzijds bepaald door de snelheid van rijzen van de buitenwaterstand tijdens de sluitingsmanoeuvre (zie fig. 11a) en anderzijds door de hoogte van de translatiegolf die door het sluiten opgewekt wordt (zie 3.1 en fig. 11b).

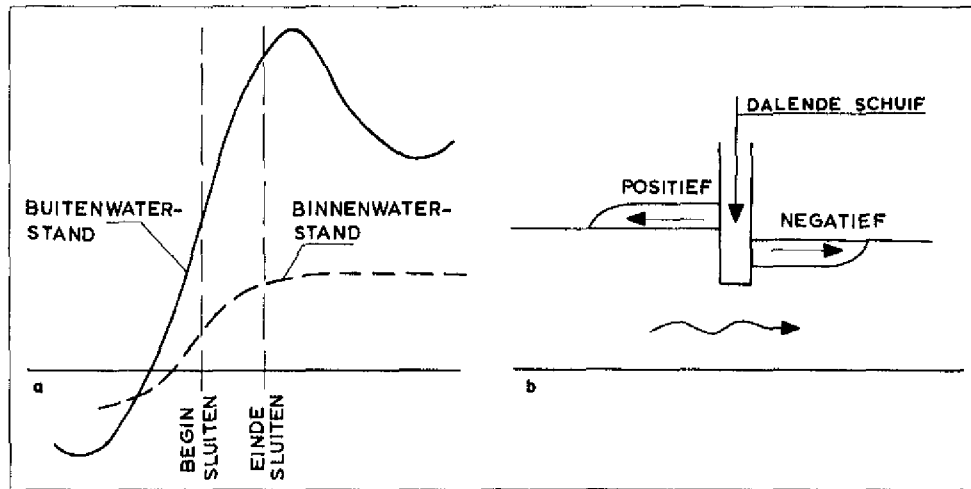


fig.11

Verloop waterstand aan weers-      Translatiegolf bij sluiting.  
zijden van de stormvloedkering.

De gegevens betreffende de rijzingssnelheden van opgetreden hoge stormvloeden zijn zo schaars dat een statistische bewerking van dit waarnemingsmateriaal niet goed mogelijk is. Wel is het mogelijk gebleken stormvloedkrommen te construeren op basis van de gewone getijkrommen en berekende stormeffecten zonder getij met verschillende globaal bepaalde kansen van optreden. Hieruit volgen dan mogelijke getijrijzingen tijdens extreme stormvloeden.

Een aannemelijke maatgevende rijzingssnelheid is ongeveer 2,5 m per uur nadat tenminste het peil N.A.P. + 2 m aan de zee-zijde van de kering is bereikt.

De translatiegolf (zie fig.11b) wordt opgewekt door wijzigingen van het debiet.

In feite veroorzaakt de sluitingsmanoeuvre twee translatiegolven. Er wordt een negatieve translatiegolf ofwel een tijdelijke verlaging van de waterspiegel op het Oosterscheldebekken opgewekt en een positieve translatiegolf ofwel een tijdelijke extra verhoging van de waterstand aan de zee-zijde van de stormvloedkering. De invloed van de translatiegolven op het verval tijdens een sluiting is dus tweeledig.

De grootte van de translatiegolf wordt vooral bepaald door de mate waarin het debiet tijdens de sluiting veranderd wordt, waarbij dus ook het doorstroomprofiel een rol speelt; hoe groter het profiel, hoe groter het aanvankelijk debiet en daarmee de translatiegolf. Hier tegenover staat dat bij een groter doorstroomprofiel de binnenwaterstand de buitenwaterstand beter volgt. Een en ander heeft tot gevolg dat het totale verval tijdens de sluiting bij een profiel van  $20.000 \text{ m}^2$  globaal een meter kleiner zal zijn dan bij een doorstroomprofiel van  $10.000 \text{ m}^2$ . De maatgevende vervallen tijdens een sluiting in stromend water bij compartimentering C3 zijn voor zover bekend in dit stadium van de studie: effectief doorstroomprofiel:  $10.000 \text{ m}^2$ , verval: 5 à 5,5 m, effectief doorstroomprofiel:  $20.000 \text{ m}^2$ , verval: 4 à 4,5 m. Deze getallen behoren bij een "maatgevende stormvloed" en een sluitingsprocedure met als startniveau het huidige grenspeil aan de zee-zijde: N.A.P. + 2,75 m en een sluitingsduur van 1 uur.

Voor een definitief ontwerp zal nagegaan moeten worden wat de optimale sluitingsduur is, zodat het ontwerpverval bij sluiting bepaald kan worden. Daarbij komt dan weer de belasting ten gevolge van golven. Voor de belasting in de diverse bouwfasen wordt verwezen naar de betreffende hoofdstukken.

De tot nu toe aangehouden randvoorwaarden zijn:

Bij gesloten kering: buitenwaterstand N.A.P. +5,3 m

binnenwaterstand N.A.P. -1,7 m

verval 7 m.

Golven:  $H_s = 4,5 \text{ m}$ , maatgevende golf =

$2 \times H_s$ .  $T_m = 7 \text{ sec}$ ,  $T_o = 10 \text{ sec}$ .

(Aanpassing voor Roompot: buitenwaterstand N.A.P. + 5,5 m

verval 7 m,  $H_s = 5 \text{ m}$ ).

Bij sluiting kering: buitenwaterstand N.A.P. +3,5 m

binnenwaterstand N.A.P. +0 m

verval 3,5 m.

Golven:  $H_s = 3,5 \text{ m}$ , maatgevende golf =

$1,5 \times H_s$ .

(Aanpassing: Een verval van 5 à 5,5 m lijkt mogelijk, waarbij ook de golfbelasting hoger zal zijn. Definitieve bepaling van de ontwerpbelasting voor dit geval is pas mogelijk na optimalisering van de sluitingsduur).

#### 4.2. GRONDMECHANISCHE ASPECTEN

##### 4.2.1. Inleiding

Voor de overdracht van de op de stormvloedkering uitgeoefende krachten aan de ondergrond komen in principe de twee volgende methoden in aanmerking:

- een fundering op een drempel van slakken en stortsteen.  
Dit is de zogenaamde "fundering op staal";
- een diepe fundering op diep in de grond gebrachte palen of putten.

Beide methodes zijn geanalyseerd, waarbij zowel de standzekerheid als het deformatiegedrag in beschouwing zijn genomen. De studies en het onderzoek waren speciaal gericht op het cyclische karakter van de belastingen door de golven.

##### 4.2.2. Fundering op staal

Een op staal gefundeerde constructie ontleent zijn standzekerheid tegen horizontale belastingen aan het gewicht van de constructie(fig.12a).

Bezwijkmechanismen die zich kunnen voordoen zijn:

- horizontale afschuiving van een caisson over de drempel;
- afschuiving langs een ondiep glijdvlak in drempel en ondergrond waarbij de caisson horizontaal en verticaal verplaatst wordt.

Welk van beide mechanismen optreedt, hangt af van de grootte van de verhouding van de horizontale belasting  $H$  ten gevolge van verval en golfbelastingen, en de verticale belasting  $V$  hoofdzakelijk ten gevolge van het eigen gewicht, en van de schuifweerstandseigenschappen ofwel van de draagkracht van de funderingsgrondslag.



Een belangrijk aspect is daarbij de grootte van de wrijvingscoëfficiënt tussen het grondvlak van de caisson en de drempel. Dit aspect is dan ook diepgaand onderzocht door middel van grootschalige proeven.

Bij de fundering op staal zullen, vooral bij een dunne drempel, relatief grote schuifspanningen in de bovenste laag van de jonge zeezandafzetting werkzaam zijn. Deze afzettingen hebben over het algemeen een hoog poriënvolume en zijn daardoor in beginsel gevoelig voor het optreden van waterspanningsopbouw onder cyclisch wisselende schuifspanningen.

De wateroverspanning in het korrelskelet die daarmee gepaard gaat zal het draagvermogen van de grond tijdelijk doen verminderen; de mate waarin is behalve van het poriënvolume ook afhankelijk van het verloop van de stormbelasting en van de afstroming van het overspannen water.

Bij de stabiliteits- en deformatieberekeningen vormt dit aspect een essentiële onderdeel.

In verband daarmee is het belangrijk dat de eigenschappen van de jonge zeezand-afzettingen door kunstmatige verdichting verbeterd kunnen worden.

Hiervoor zijn verdichtingsproeven in situ uitgevoerd.

Ook zijn er twee proeven in situ met caissons uitgevoerd om het effect van het verdichten zo goed mogelijk te kunnen kwantificeren.

#### 4.2.3. Fundering op putten

Bij een diepe fundering worden de krachten grotendeels overgebracht naar de diepere, draagkrachtiger lagen.(fig.12). Het eigen gewicht van de constructie heeft een kleinere invloed op de stabiliteit dan bij op staal gefundeerde caissons. Ten gevolge van de zijdelingse steun van de grond zal de constructie niet bezwijken door horizontale verplaatsingen. Kanteling wordt ook tegengewerkt door de horizontale grondsteun. Vanzelfsprekend zal wel hoekverdraaiing van de putten optreden, waardoor horizontale deformaties ontstaan op en

boven het niveau van de bovenkant van de drempel. Verdichting van de grond zal over het algemeen niet noodzakelijk zijn. Als het gebeurt, is het voornaamste doel ervan de deformaties te beperken.

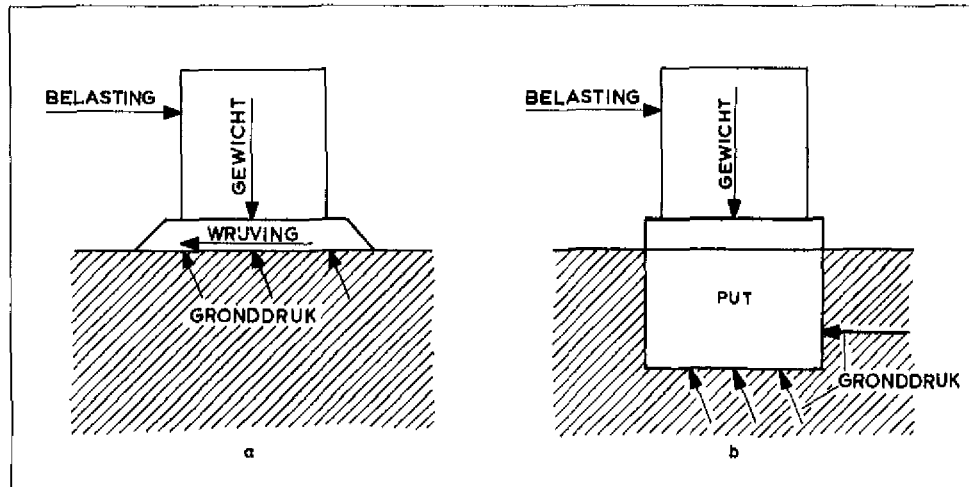


fig.12

Overdracht van belastingen op  
constructies naar ondergrond.

#### 4.2.4. Berekeningen en proeven

Voor de analyse van de stabiliteit en het deformatiegedrag is in eerste instantie gebruik gemaakt van algemeen gebruikte berekeningsmethoden. Voor de stabiliteit is de berekeningsmethode van Brinch Hansen toegepast. Het deformatiegedrag werd geanalyseerd door middel van de invoering van beddingsconstanten van de grond onder en terzijde van de caissons en de putten. Het effect van cyclische belastingen op de deformaties werd onderzocht met behulp van de resultaten van cyclische belastingsproeven op monsters.

Van de caissons en de putten is in de berekeningen aangenomen dat het stijve elementen zijn.

Tevens werden berekeningen uitgevoerd met de methode van eindige elementen ter beantwoording van vragen waarbij stijfheidsverhoudingen tussen betonconstructie, drempel en ondergrond een rol spelen.

Ook zijn op kleine schaal modelproeven met op staal gefundeerde caissons uitgevoerd. Bij de Universiteit van Manchester werden modelproeven verricht in een centrifuge. Hierbij wordt het eigen gewicht van de grond op de juiste schaal gebracht. In het Laboratorium voor Grondmechanica werden modelproeven gedaan onder normale-zwaarte-kracht-omstandigheden.

Voorts zijn twee grootschalige modelproeven op een klein caisson uitgevoerd in de werkhaven Neeltje Jans. Hierbij werd de werkelijke belastingstoestand van de caissons onder extreme stormomstandigheden op geschematiseerde wijze nabootst. Bij de eerste proef was de ondergrond niet verdicht en was er geen drempel aanwezig tussen caisson en grondslag. Bij de tweede proef werd een drempel aangebracht op een kunstmatig verdichte ondergrond. Behalve als modelproef voor op staal gefundeerde caissons hebben deze proeven ook gediend voor de toetsing van een aantal berekeningsmethoden die zowel voor de staal- als voor de puttenfundering van belang zijn.

De resultaten gaven voldoende informatie om twijfels over de sterkte en het deformatiegedrag van de verdichte bodem weg te nemen. Een verdere evaluatie van de resultaten is van belang voor het optimaliseren van de verschillende constructies.

#### 4.2.5. Grondgesteldheid

##### Randvoorwaarden

In grote lijnen is de grondslag in de drie sluitgaten tot een diepte die van belang is voor de fundering van de kering, samengesteld uit diepgelegen pleistocene afzettingen (formatie van Tegelen en formatie van Maassluis) met daarboven holocene afzettingen die in hoofdzaak uit jong zeezand en oud wadzand bestaan. Deze holocene afzettingen bezitten over het algemeen een losse korrelstapeling met een hoog poriëngehalte. Dit betekent dat ze een betrekkelijk lage schuifweerstand hebben en bovendien gevoelig zijn voor verweking onder cyclisch veranderende schuifspanningen. De coëfficiënt van schuifweerstand schommelt over het algemeen rond een gemiddel-

de waarde van  $80 \text{ kgf/cm}^2$ .

In het noordelijk deel van het tracé in de Hammen bevatten de jonge holocene afzettingen veel klei- en siltlagen, waardoor de mechanische eigenschappen van deze afzettingen duidelijk minder zijn dan in het overige gedeelte van het tracé van de stormvloedkering.

Ten gevolge van uitschuring is de holocene afzetting in de diepe delen van de drie sluitgaten aanzienlijk dunner dan aan de randen.

De diepteligging van de bovenkant van het pleistoceen varieert van ca.N.A.P. - 35 m tot N.A.P. - 40 m. Het grondonderzoek in het Pleistoceen heeft zich beperkt tot twintig boringen en twaalf boorsonderingen tot een diepte van N.A.P. - 50 m tot - 60 m. Hieruit blijkt dat de samenstelling en de eigenschappen van het Pleistoceen sterk wisselen.

In de Hammen is de formatie van Tegelen, waarin zeer hoge sondeerwaarden voorkomen, enige meters dik. Daaronder komt tot de verkende diepte de formatie van Maassluis voor, waarin tot ca.N.A.P.- 52 m overwegend slibhoudend zand voorkomt met sondeerwaarden van 100 tot  $160 \text{ kgf/cm}^2$ . In dit pakket worden tussenlagen van één tot enkele meters sterk kleihoudend zand aangetroffen met lage sondeerwaarden van 50 à  $70 \text{ kgf/cm}^2$ . Vanaf ca.N.A.P.- 52 m worden zeer hoge sondeerwaarden gemeten.

In de Schaar van Roggenplaat komt vanaf ca.N.A.P.- 32 m tot de verkende diepte de formatie van Tegelen voor, waarin vrijwel over het gehele sluitgat enige meters zwak tot sterk kleihoudende lagen worden aangetroffen, omstreeks het niveau van N.A.P.- 40 m. Daarboven en daaronder komt zand voor met zeer hoge sondeerwaarden.

In de Roompot wordt eveneens tot ca. N.A.P.- 60 m de formatie van Tegelen aangetroffen, waarin over het algemeen zeer hoge sondeerwaarden worden gemeten. Uitzonderingen zijn de randen van het sluitgat waar omstreeks N.A.P.- 40 m kleihoudende lagen kunnen voorkomen.

4.2.6. Stabiliteit

Bij de stabiliteitsanalyse van de op staal gefundeerde caissons gaat men uit van de maximaal te verwachten belasting bij de maatgevende stormomstandigheden en de resultaten van stabiliteitsberekeningen met ongunstig aangenomen materiaaleigenschappen.

Voor deze berekeningen is de veiligheidscoëfficiënt gesteld op 1,25.

Bij de puttenfundering werden de berekeningen uitgevoerd met een waarde van de hoek van inwendige wrijving van de pleistocene laag van  $40^{\circ}$ . Het ligt in de bedoeling om voor een definitief ontwerp ter plaatse van iedere put grondonderzoek uit te voeren. De daarbij gevonden waarden van de grondeigenschappen dienen te worden getoetst aan de in de berekeningen gebruikte waarden; de kans dat de werkelijke gemiddelde waarde van de hoek van inwendige wrijving kleiner is dan  $40^{\circ}$  moet kleiner geacht worden dan 5 %.

Aangezien het grondonderzoek nog niet volledig is uitgevoerd, wordt de veiligheidscoëfficiënt bij de puttenfundering gesteld op 1,5.

4.2.7. Deformaties

Ten aanzien van de deformaties zijn geen eisen gekwantificeerd. Gestreefd is naar vervormingen van maximaal enige decimeters. In hoofdstuk 5 zal nader ingegaan worden op de berekeningsresultaten.

4.2.8. Stabiliteit van de rand van de bodembescherming

Aan weerszijden van de kering zullen aan de rand van de bodembescherming ontgrondingskuilen ontstaan mede als gevolg van de vertraging van de stroom (zie 4.1).

Wanneer deze kuilen te steile hellingen krijgen, kan afschuiving van het talud optreden. Hierdoor zou een zogenaamde zettingsvloeiing in de holocene afzettingen ingeleid kunnen worden. Dit verschijnsel hangt samen met de neiging van de losgepakte zandkorrels om als gevolg van plotselinge spanningswijzigingen in de bodem een dichtere stapeling te

zoeken. Deze neiging wordt tegengewerkt door het poniënwater, waardoor het contact tussen de korrels onderling verloren gaat. Het zand verweekt dan en gaat zich gedragen als een dikke vloeistof. Hierdoor kan een grote hoeveelheid zand van onder de bodembescherming wegvloeien met als gevolg dat de stabiliteit van de kering in gevaar kan komen. Ook wanneer een zettingsvloeiing niet geheel doorloopt tot de kering of wanneer een afschuiving niet tot een vloeiing leidt, ontstaat een potentiëel gevaarlijke situatie, doordat de bodembescherming beschadigd wordt. Een dergelijke beschadiging kan een terugschrijdend effect hebben, zodat de kering op den duur toch in gevaar komt. Aangezien het niet goed mogelijk is de omvang van een eventuele zettingsvloeiing te voorspellen, evenmin als de gevolgen van terugschrijdende erosie, is het uitgangspunt geweest dat er geen afschuivingen en zettingsvloeiingen aan de rand van de bodembescherming mogen optreden.

Aan het einde van de bodembescherming zullen dus maatregelen getroffen moeten worden om de omvang van eventuele afschuivingen te beperken en daarmee zettingsvloeiingen te voorkomen. De maatregelen kunnen zijn:

- verdichten van de holocene afzettingen ter voorkoming van zettingsvloeiingen;
- bestorting van de ontgrondingskuilen ter voorkoming van afschuivingen;
- een speciale randconstructie aan de bodembescherming, om de hellingen van de kuil zo flauw te maken dat er geen gevaar voor afschuiving meer bestaat. Zo'n randconstructie is nog onvoldoende bestudeerd, zodat men bij het ontwerp is uitgegaan van een combinatie van bestorten en verdichten.

#### 4.3. VORM VAN HET DOORSTROOMPROFIEL

##### 4.3.1. Inleiding

Omdat slechts een deel van het oorspronkelijke profiel benodigd is als doorstroomprofiel van de kering, kan het op

verschillende manieren in de sluitgaten gesitueerd worden; de debietverdeling over de drie sluitgaten moet wel ongeveer dezelfde blijven als thans.

Tijdens de studieperiode zijn twee extreme vormen en situeringen van het doorstroomprofiel naar voren gekomen, die bekend geworden zijn onder de namen "brievenbus"- en "spleet"- profiel.

Deze vormgeving en situering staan los van de drie onderzochte funderingstypen.

In fig.13 zijn de twee mogelijkheden geschetst. Bij de "spleet"- oplossing is het profiel in het diepe deel van de geulen geconcentreerd. Op samengetrokken schaal lijkt het profiel enigszins op een verticale spleet.

Bij de "brievenbus"- oplossing is het doorstroomprofiel over de sluitgatbreedte verdeeld en geconcentreerd in het bovenste deel van de verticaal. Aan de langgerekte lage opening dankt deze oplossing zijn naam.

Tussen beide extremen zijn nog tal van oplossingen denkbaar; een exacte scheiding tussen "brievenbus" en "spleet" is niet aan te geven.

De uitvoering van de stormvloedkering is bij de twee oplossingen verschillend(fig.14). Bij het "spleet"-profiel worden eerst de zuidelijke delen van de sluitgaten afgesloten door stortsteendammen van de oevers uit te bouwen. Deze dammen eindigen in overgangconstructies, bijvoorbeeld dichte caissons die al eerder geplaatst zijn.

Vervolgens wordt de stormvloedkering geplaatst, waarna de noordelijke delen van de sluitgaten gesloten worden met behulp van blokken aangebracht met kabelbanen.

Om dit mogelijk te maken moeten ook de noordelijke overgangconstructies al vóór de sluiting aangebracht worden, want daarop wordt de eindverankering van de kabelbanen geplaatst. De kabelbaansluiting kan pas na plaatsing van de kering uitgevoerd worden omdat anders de snelheden bij het plaatsen

te hoog oplopen. Na de kabelbaansluiting is de gehele kering gereed.

Bij het "brievenbus"- profiel wordt de kering over een zo groot mogelijk deel van de sluitgaten gebouwd. Daarna wordt het profiel door middel van betonnen schotbalken verkleind tot de gewenste grootte.

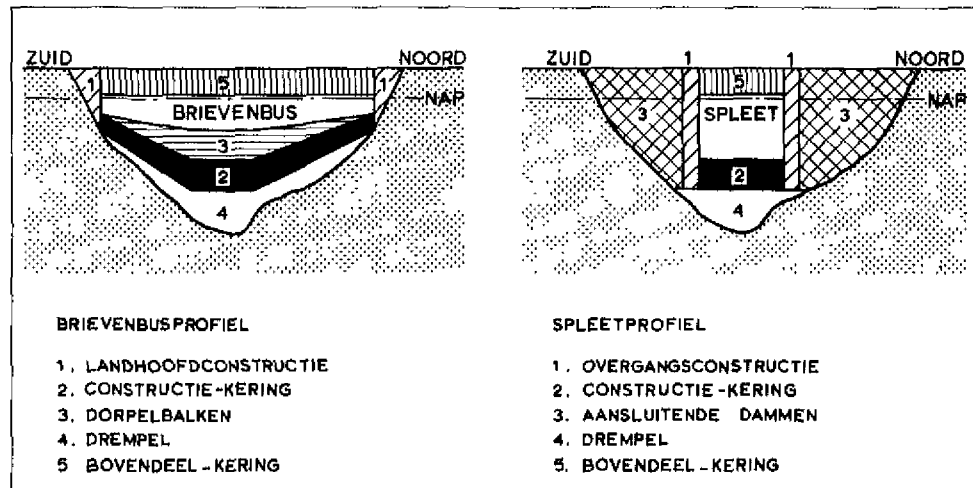


Fig.13

#### 4.3.2. Ontgrondingen

Zoals in 4.1 is gesteld vormt de energietoewijding over de kering een belangrijk probleem. De totale energietoewijding is bij het "spleet"- en het "brievenbus" profiel gelijk, maar bij de "brievenbus" wordt ze over de hele sluitgatbreedte gespreid, terwijl ze bij de "spleet" over een geringere breedte verdeeld moet worden.

Gevolg is dat de aanval op de bodem bij het "spleet"- profiel intensiever wordt, hetgeen zowel een veel langere als een in de buurt van de kering zwaardere bodembescherming vereist.

"Bij de "brievenbus" is een lengte van gemiddeld 500 m aan weerszijden van de kering voldoende; bij de "spleet" moet ongeveer 1.500 m aan weerszijden vastgelegd worden.

Dit laatste getal is vrij grof; het berust op een sterke extrapolatie van de modelresultaten.



Over de gevolgen van een dergelijke vernauwing voor de morfologie van het hele geulenstelsel en de aanval op de oevers is vrijwel niets te zeggen. Hiervoor bestaat nog geen goede onderzoekmethode. Het gevaar is aanwezig dat de stroom die uit het "spleet"- profiel komt niet stabiel zal zijn, maar zal gaan kwispelen, met alle mogelijke gevolgen voor oevers en platen. Dit is een van de voornaamste bezwaren tegen de spleetoplossing, temeer daar dit effect nog niet gekwantificeerd kan worden.

#### 4.3.3. Plaatsing

Voor de plaatsing van de elementen van de stormvloedkering leek het "spleet"- profiel aanvankelijk de gunstigste voorwaarden te bieden. Door eerst de elementen in de diepe delen te plaatsen en de kanten van de geulen open te laten, houdt men de snelheden tijdens en na het plaatsen van de elementen zelf laag.

Bovendien hoeft men niet terwille van de diepgang van de caissons gebruik te maken van de HW-kenteringen, die korter zijn, ook is het aantal te plaatsen elementen geringer dan bij de "brievenbus".

Echter om de kering direct na plaatsing bereikbaar te maken worden ook hier vanuit de zuidelijke oevers dammen gebouwd voordat de kering zelf geplaatst wordt.

Deze dammen vernauwen de sluitgaten zodanig dat het profiel bij plaatsing niet groter is dan bij de "brievenbus", terwijl het stroombeeld door de dam ook ongunstig wordt beïnvloed. Een belangrijk deel van de aantrekkelijkheid van de "spleet"-profielen gaat hiermee verloren.

#### 4.3.4. Diversen

Er zijn nog een aantal minder belangrijke nadelen met betrekking tot de "spleet"- oplossing te noemen. Bij de "brievenbus"-oplossing bestaat de mogelijkheid in een later stadium het doorstroomprofiel te vergroten door een deel van de betonnen schotbalken weg te nemen en de schuiven te vergroten. Bij de "spleet"-oplossing zou zo'n verruiming

slechts mogelijk zijn door ter plaatse van de blokkendam een bouwput te maken.

Voorts is het systeem dat nodig is om de schuiven te bewegen bij het "spleet"-profiel minder fraai, terwijl de bouw van een weg over de blokkendam en de aansluiting ervan op de kering ook niet zonder problemen verloopt.

Omdat er vanuit een oogpunt van planning geen voorkeur voor een van beide oplossingen bestaat en er geen significant kostenverschil is, verdient een "brievenbus"-profiel duidelijk de voorkeur. Bij het uitwerken van de ontwerpen zijn "spleet"-profielen dan ook verder buiten beschouwing gelaten.

#### 4.4

#### DE RELATIE TUSSEN STORMVLOEDKERING EN COMPARTIMENTERING

De relatie tussen stormvloedkering en compartimentering is vooral van belang voor de grootte van het doorstroomprofiel als de kering gereed is. Om een zelfde getijverschil te handhaven, is op een kleinér bekken een kleiner doorstroomprofiel nodig (zie fig.5). Binnen zekere grenzen is het doorstroomprofiel evenredig met het kombergingsoppervlak (zie onderstaande tabel).

| Compartimentering                          | Bergend oppervlak<br>op N.A.P. in ha. | Doorstroomprofiel<br>(m <sup>2</sup> ) voor 2,3 m ge-<br>tijverschil achter-<br>in het bekken |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| C <sub>0</sub> (ongecomparti-<br>menteerd) | 39.000 (100%)                         | 14.200 (100%)                                                                                 |
| C <sub>3</sub>                             | 31.000 (80%)                          | 11.500 (81%)                                                                                  |
| C <sub>4</sub>                             | 21.000 (54%)                          | 8.000 (56%)                                                                                   |

Uit de tabel volgt dus dat, voor een getijverschil van 2,3 m bij compartimentering C<sub>4</sub> in de eindfase een ca. 30% kleiner profiel nodig is dan bij C<sub>3</sub>; dit verschil is vanzelfsprekend van invloed op het benodigd oppervlak van de schuiven.

Het aantal te plaatsen caissons of pijlers, en daarmee de totale omvang van het "brievenbus"- profiel wordt echter niet bepaald door de eindfase, maar veeleer door de plaatsingsfase (zie 4.1, 6.6 en 6.7).

Wanneer de stormvloedkering gebouwd wordt vóórdat de compartimenteringsdammen gereed zijn, heeft de keuze van de compartimentering geen invloed op de omvang van de kering maar bij de omgekeerde bouwvolgorde maakt het misschien wel iets uit. De keuze welke dam(men) het eerst gebouwd word(t) (en): de stormvloedkering(primaire dam) of de compartimenteringsdammen (secundaire dammen), is in principe nog vrij. Slechts staat vast dat de secundaire dammen in hetzelfde seizoen gesloten moeten worden als de primaire dam(zie 3.4).

Wanneer eerst de stormvloedkering gebouwd wordt, kan de bouw van de secundaire dammen daardoor mogelijk eenvoudiger zijn door de reductie van de getijbeweging.

In het geval dat de secundaire dammen gesloten worden vóórdat de stormvloedkering gebouwd wordt, is enige vermindering van de stromingen in de mond te verwachten als gevolg van de verkleining van het bekken. Maar het effect is in de uitvoeringsfase geringer dan in de definitieve toestand. Door de aanleg van de Oesterdam volgens compartimenteringsmodel  $C_3$  of van de Wemeldingedam volgens model  $C_4$  wordt de lengte van het Oosterscheldebekken verkort. Het reflectiepunt voor de getijgolf komt daardoor dichterbij de mond te liggen, zodat het waterstandsverloop op het bekken wordt vervormd. Daarbij valt met name de verhoging van het H.W. op. Deze verhoging varieert langs het bekken; bij  $C_3$  bedraagt ze enkele dm's en bij  $C_4$  meer dan een halve meter. De verlaging van het L.W. bedraagt in alle gevallen ca. 0,1 m. Dezelfde verschijnselen hebben ook hun invloed op het debietverloop in de monding, hetgeen weer van belang is voor de bouwfases van de stormvloedkering. Als belangrijkste parameters gelden hierbij het maximale debiet of de maximale stroomsnelheid en

de duur van de kentering. In fig. 14 is het debietverloop in de Roompot getekend bij een totaal doorstroomprofiel van  $45.000 \text{ m}^2$ . Voor de andere sluitgaten is het verloop analoog.

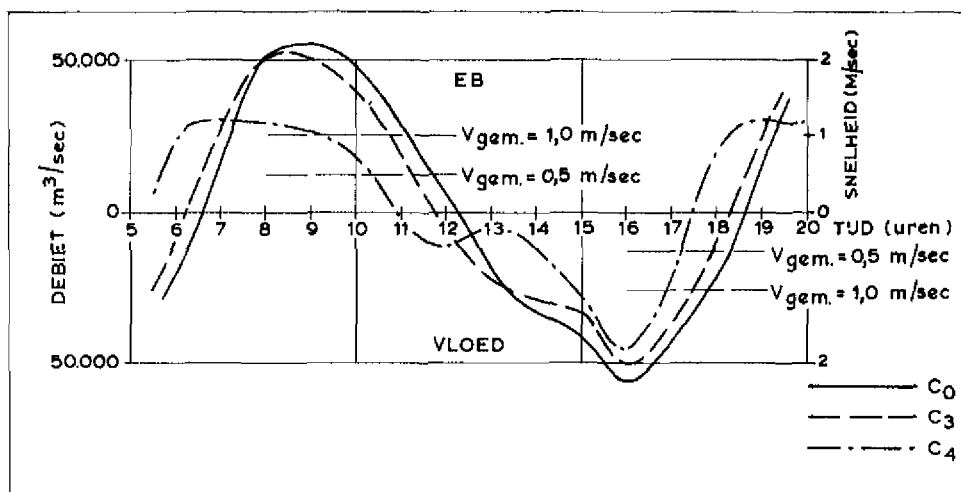


Fig. 14

Debietverloop Roompot tijdens plaatsen kering bij verschillende compartimenteringsmodellen.

$$\sqrt{U} \text{ A Totaal} = 45.000 \text{ m}^2$$

$$\sqrt{U} \text{ A Roompot} = 25.000 \text{ m}^2$$

Onder kenteringstijd wordt de periode verstaan waarin de stroomsnelheid verloopt van 1m/sec of van 0,5m/sec tot 0m/sec. Deze snelheden zijn gemiddelden over het gehele profiel, hetgeen voor een vergelijking geen bezwaar is. Plaatselijk kunnen de snelheden ca. 20% groter zijn. In onderstaande tabel zijn de maximale debieten en de kenteringstijden, ontleend aan fig. 14, weergegeven.

Worden vóór de bouw van de kering de secundaire dammen volgens model  $C_3$  gelegd, dus de Oester- en de Philipsdam, dan neemt het maximum debiet iets af, terwijl de kenteringstijden zelfs iets korter worden.

Maximale debieten en kenteringstijden in de Roompot bij een totaal doorstroomprofiel van  $45.000 \text{ m}^2$

| Compart.       | Maximaal debiet in<br>m <sup>3</sup> /sec. |                  | L.W.-kentering<br>in minuten |          | H.W.-kentering<br>in minuten |          |
|----------------|--------------------------------------------|------------------|------------------------------|----------|------------------------------|----------|
|                | eb                                         | vloed            | bij stroomsnelheden van      |          |                              |          |
|                |                                            |                  | 1-0m/s                       | 0,5-0m/s | 1-0m/s                       | 0,5-0m/s |
| C <sub>0</sub> | 55.000<br>(100%)                           | 56.000<br>(100%) | ca 70                        | ca 40    | ca 55                        | ca 25    |
| C <sub>3</sub> | 51.000<br>( 93%)                           | 49.000<br>( 88%) | ca 65                        | ca 35    | ca 50                        | ca 25    |
| C <sub>4</sub> | 30.000<br>( 55%)                           | 45.000<br>( 80%) | ca110                        | ca 35    | ca 35                        | ca 20    |

De verschillen zijn zo klein dat hieraan geen doorslaggeven-  
de argumenten voor het sluitingstijdstip van de compartimen-  
teringsdammen te ontleen zijn. Bij aanwezigheid van de se-  
cundaire dammen volgens C<sub>4</sub> wordt het ebdebiet sterk geredu-  
ceerd, terwijl het vloeddebiet wel gereduceerd wordt, maar  
veel minder dan op grond van de bekkenverkleining verwacht  
mocht worden. De tijdsduur die beschikbaar is voor de plaat-  
sing kan, afhankelijk van de aangenomen snelheid waarbij de  
werkzaamheden beginnen, zowel langer als korter worden (zie  
bovenstaande tabel).

Dat deze verschijnselen zich in de definitieve toestand niet  
manifesteren komt doordat de weerstand van de stormvloedke-  
ring dan overheerst.

Samenvattend kan gezegd worden dat keuze van het compartimen-  
teringsmodel C<sub>4</sub> in plaats van C<sub>3</sub> vrijwel uitsluitend betekenis  
heeft voor het doorstroomprofiel in de eindfase en daarmee  
voor het totale oppervlak van de afsluitmiddelen; dit opper-  
vlak kan ca. 30% kleiner worden.

Gezien het feit dat de kosten van de sluitingsmiddelen bij  
enkele kering ca. 10-15% en bij dubbele kering ca. 25-30% uit-  
maken van de totaalkosten van de stormvloedkering, is het to-  
tale kostenverschil niet groot.

Bij het ontwerp van de stormvloedkering is verder uitgegaan  
van compartimentering volgens model C<sub>3</sub>.

## Hoofdstuk 5

### ONTWERPEN VOOR DE STORMVLOEDKERING

#### 5.1. INLEIDING

In de beginfase van de studie zijn enkele tientallen schetsontwerpen van zeer uiteenlopende aard op hun merites beoordeeld. Na zorgvuldige afweging werd een groot aantal van de ontwikkelde alternatieven te licht bevonden. De redenen hiertoe konden uiteenlopen van onoverkomelijke constructieve of uitvoeringstechnische problemen, tot te hoge kosten, of een te gering doorstroomprijs tijdens de bouw of in de eindtoestand. Ter illustratie worden onder 5.5 enkele van de meest markante alternatieven toegelicht.

Na deze reeds in een vroeg stadium uitgevoerde selectie evolueerden de resterende ontwerpen tot drie alternatieven die zich van elkaar onderscheiden zowel in de wijze van funderen als in de keuze van de hoofdconstructie die zorg draagt voor de overdracht van de op de kering uitgeoefende belastingen. Deze drie alternatieven zijn (fig. 15):

1. caissons gefundeerd op staal;
2. pijlers gefundeerd op putten;
3. caissons gefundeerd op putten.

In dit hoofdstuk zal van de vormgeving van deze drie alternatieven een algemene beschrijving worden gegeven aan de hand van het lengteprofiel en de situatieschetsen. Voorts zullen de volgende hoofdonderdelen van de drie oplossingen nader worden beschreven:

De fundering : de basis die de draagkracht levert voor de overdracht van het eigen gewicht van de kering en de daarop werkende krachten.

De afdichting : de bescherming tegen erosie van de zandbodem onder en aan weerszijden van de kering.

De constructie: het betonnen "frame" waarbinnen de schuiven kunnen bewegen en waardoor de op de schuiven werkende krachten naar de fundering worden afgeleid.

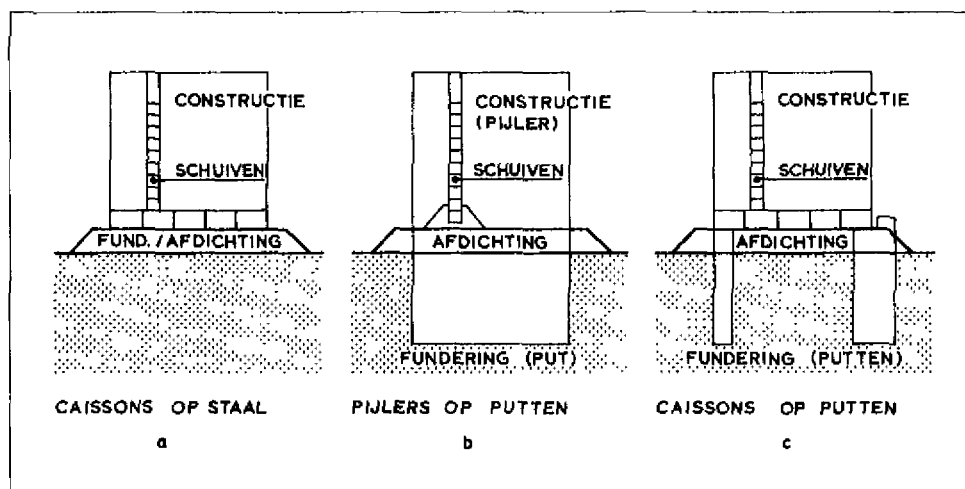


fig. 15

De drie alternatieve funderingssys-  
temen

De schuiven : de afsluitmiddelen waarmee de kering kan wor-  
den geopend en gesloten.

Alle drie de ontwerpen zijn afgestemd op de in de hoofdstuk-  
ken 3 en 4 beschreven eisen, randvoorwaarden en uitgangspun-  
ten. Het accent is gelegd op de oplossingen die een gemid-  
deld getijverschil van 2,3 m te Yerseke leveren. Daarnaast  
is globaal nagegaan welke consequenties verbonden zijn aan  
een zodanige vergroting van het doorstroomprofiel dat te Yer-  
seke een getij van ca. 3,1 m wordt gerealiseerd.

In een vroege fase van het onderzoek is een begroting gemaakt  
van een globaalontwerp van een stormvloedkering met een door-  
stroomprofiel van  $30.000 \text{ m}^2$ , namelijk een profiel dat een ge-  
tijamplitude van 3,5 m, gelijk aan het huidige, oplevert. De  
kosten bleken zeer hoog te zijn. Deze variant is daarom niet  
in de studie meegenomen. Wel moet deze oplossing technisch  
realiseerbaar worden geacht.

De bodembescherming en de drempels, die samen de afdichting  
vormen, zijn afgestemd op een hydraulische situatie met wei-  
gerende afsluitmiddelen. Zij worden stabiel geacht onder de  
dan voorkomende maximale stromings- en golfcondities.

Opgemerkt moge worden dat de ontwerpen nog niet in detail

zijn uitgewerkt; zij dragen dan ook een globaal karakter. In hoofdstuk 6 worden de ontwikkelingen die geleid hebben tot de hier gepresenteerde ontwerpen, nader toegelicht. Tevens zal daar worden ingegaan op de problematiek van een enkelvoudige of dubbele kering.

## 5.2. CAISSONS GEFUNDEERD OP STAAL

### 5.2.1. Inleiding

Bij de op staal gefundeerde stormvloedkering moeten de op de caissons uitgeoefende krachten op de jonge zeezandafzettingen van de Oosterscheldebodem worden overgedragen. Dit gebeurt via de drempelconstructie, die dan ook een stabiele basis dient te vormen. Dat betekent dat de pakkingsdichtheid van de drempel aan bepaalde eisen moet voldoen. Vanzelfsprekend geldt dit ook voor de dichtheid van de jonge zeezandafzettingen van de ondergrond. De caissons zullen worden gebouwd in de bouwputten achter het damvak Geul. Tegelijkertijd worden in de sluitgaten de drempels gebouwd. Met behulp van sleepboten worden de caissons met de daarin opgehangen schuiven dan naar de sluitgaten gebracht, waar ze op de drempel geplaatst worden.

### 5.2.2. Algemene vormgeving (fig. 16, 17 en 18)

Teneinde horizontale insnoering van de stroom in de drie sluitgaten zoveel mogelijk te beperken, is aan de sluitgaten de grootst mogelijke lengte gegeven.

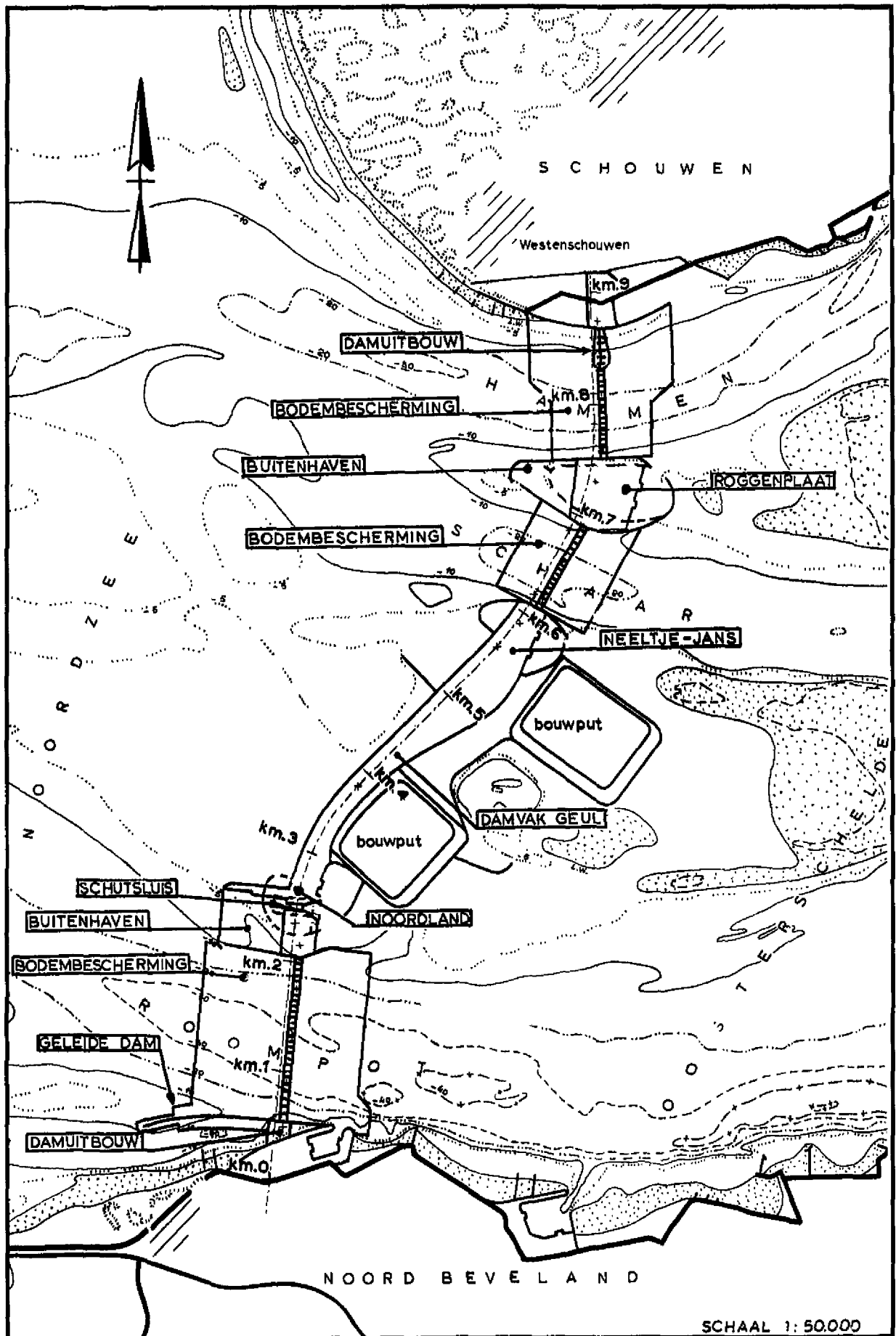
Aangezien de spekkoeklagen in het holocene grondpakket van het noordelijke deel van de Hammen geen aanvaardbare grondslag voor een fundering op staal bieden, moet dit deel van het huidige sluitgat worden afgesloten met een blokkendam.

De lengte van het resterende doorstroomprofiel bedraagt dan in de Hammen, Schaar en Roompot respectievelijk 760, 760 en 1.370 m, in totaal ca. 2.900 m.

In deze sluitgaten moeten respectievelijk 14, 14 en 25, in totaal derhalve 53 caissons geplaatst worden.

Bij het ontwerp van de damaanzetten wordt een zo goed mogelijke aanstroming nagestreefd; bij de damaanzet Schouwen





SCHAAL 1:50.000

Fig. 16

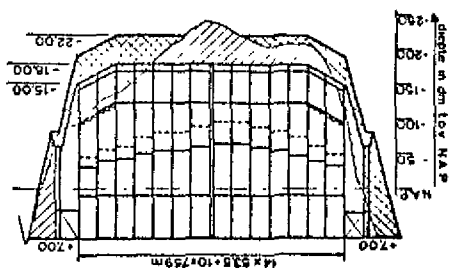
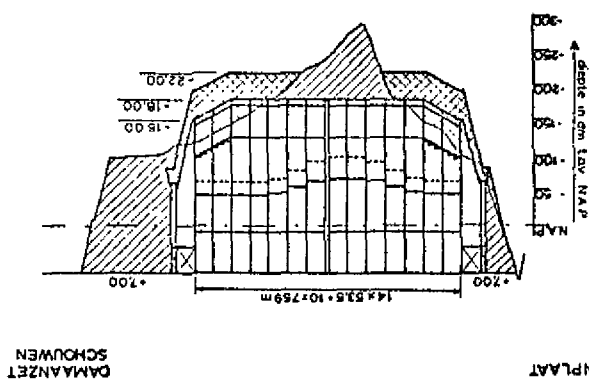
Situatie stormvloedkering caissons gefundeerd op staal.

# CAISSONS GEFUNDEERD OP STAAL LENGTEPROFIEL

dorpelhoogte 11,800 m<sup>2</sup> profiel  
 dorpelhoogte 20,000 m<sup>2</sup> profiel  
 ingaving  
 ophoging

SLUITGAT HAMMEN

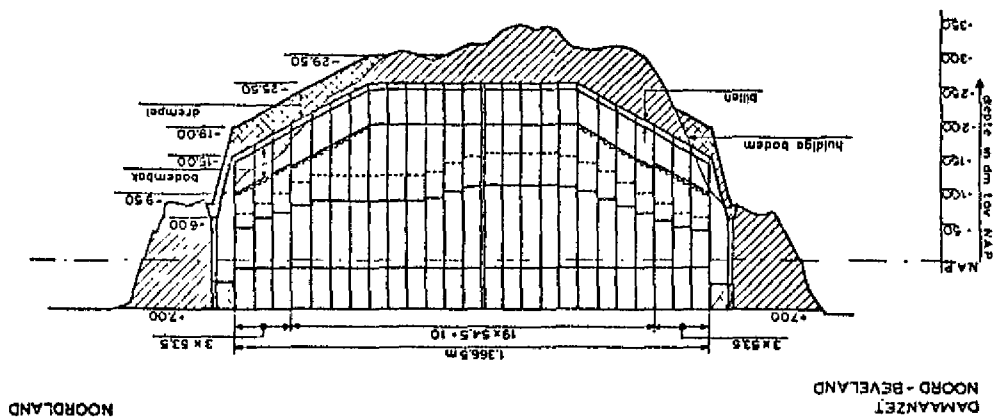
SLUITGAT SCHAAR VAN ROGGENPLAAT



ROGGENPLAAT

NEELTJE - JANS

SLUITGAT ROOMPOT



NOORDLAND

DAMMAANZET  
NOORD - BEVELAND

blijkt dit niet goed mogelijk. De gevolgen van de minder fraaie aanstroming worden daar opgevangen door extra bodembescherming.

Bij de plaatsing van de caissons moeten zekere toleranties in acht genomen worden; ook zullen er na het gereedkomen van de kering deformatieverschillen optreden. Om deze twee redenen is voorzien in een onderlinge tussenruimte van de caissons van gemiddeld 1,5 m.

Voor de plaatsing van de laatste caisson wordt in elk sluitgat bovendien één tussenruimte van 10 m gereserveerd. Na de plaatsing van de caissons zullen de kleine voegen worden gedicht met flexibele gewapende rubberbuizen, zowel aan de voorzijde als aan de achterzijde van de kering. De sluitvoeg wordt gedicht met behulp van een drijvend aangevoerd betonnen element.

Aangezien bij plaatsing van de caissons een doorstroomprofiel van tenminste  $30.000 \text{ m}^2$  vereist is, bleek het noodzakelijk de bestaande sluitgaten niet alleen over de volle lengte te benutten, doch ook zoveel mogelijk over de volle diepte. Bovendien is het niveau van de oplegvlakken gesteld op N.A.P. -15m of dieper, zulks in verband met de diepgang van de caissons, die men door toegevoegd drijvend vermogen verminderen kan met 2 m. Mede gezien de minimale drempeldikte van 4 m zijn dan aanzienlijke inbaggeringen in het bestaande geulprofiel noodzakelijk: in de Roompot moet over 45 % van de lengte ingebaggerd worden en in de Schaar en de Hammen zelfs over 82 % van de lengte.

Onder meer om hydraulische redenen wordt het doorstroomprofiel zoveel mogelijk proportioneel gehouden aan het oorspronkelijke profiel. Dit impliceert dat er caissons met schuine bodembakken noodzakelijk zijn.

### 5.2.3. Fundering

De fundering bestaat bij caissons op staal uit de drempel. Aangezien de drempel behalve een dragende ook een afdichtende functie vervult, moet hij tenminste uit de volgende filterconstructies bestaan:

- een bodembescherming bestaande uit een "sandwich" opgebouwd

|                                                      |       |
|------------------------------------------------------|-------|
| uit twee blokkenmatten met daartussen een laag grind |       |
| dik:                                                 | 0,5 m |
| - een laag fosforslakken met een dikte van minimaal  | 1,0 m |
| - een laag stortsteen 10/60 kg, dik:                 | 1,0 m |
| - een laag stortsteen 60/300 kg, dik:                | 1,5 m |
|                                                      | <hr/> |
| samen:                                               | 4,0 m |

Welke eisen men moet stellen aan de mechanische eigenschappen van de fundering hangt sterk samen met de vraag welke caisson men toepast en hoe men zich de opleggingen op de drempel denkt.

Gekozen is een kort en breed caisson 50 x 50 m met drie oplegvlakken van 15 x 15 m, twee aan de Oosterscheldezijde en één aan de zee-zijde.

Het systeem van een drievlaksoplegging is relatief eenvoudig en biedt voor een juiste krachtsoverdracht de grootste zekerheid.

Ten behoeve van deze krachtsoverdracht is het noodzakelijk de drempel af te vlakken. De voor de filtereigenschappen van de drempel noodzakelijke opbouw in lagen maakt het noodzakelijk dat niet alleen de bovenste laag, maar alle lagen worden afgevlakt.

De stabiliteit van deze caissons is onderzocht door middel van berekeningen. Er wordt voldoende stabiliteit (veiligheidscoëfficiënt 1,25) bereikt bij een verdichte drempel en een over een bepaalde diepte verdichte ondergrond, met toepassing van enige ballast boven de ondersteuningsvlakken. Door het verdichten wordt de hoek van inwendige wrijving in het drempelmateriaal minimaal  $40^{\circ}$ , en in de ondergrond minimaal  $37\frac{1}{2}^{\circ}$ .

Bij de minimale drempelmaat van 4 m wordt ook de ondergrond over een dikte van 10 m verdicht.

Bij hogere drempels kan de dikte van het pakket te verdichten ondergrond worden gereduceerd en bij een drempelhoogte van 9 m kan verdichting van de ondergrond achterwege blijven.

Indien het te verdichten pakket bestaat uit pleistoceen materiaal is verdichting van de ondergrond doorgaans niet noodzakelijk. Ten behoeve van de stabiliteit worden de onderkokers

van de caissons geballast met zand. Daarenboven is bij de caissons die op grote diepte worden geplaatst nog een extra ballast noodzakelijk, die varieert van 3.000 ton voor de caissons op N.A.P. -18 m tot 5.000 ton voor de caissons op N.A.P. -25,5 m.

Het aanbrengen van deze ballast is constructief eenvoudig. Bij de stabiliteitsbeschouwing zijn de aanstortingen tegen de caissons mede in de berekening opgenomen. De bijdrage die deze aanstortingen in de stabiliteit kunnen leveren is echter afhankelijk van het effectieve gewicht van het stortmateriaal. Bij de nadere precisering van de berekening zal derhalve ook de stromingsdruk ten gevolge van onderloopsheid in de beschouwing moeten worden betrokken. Een beperkte verhoging van de voorziene ballasthoeveelheid kan dan noodzakelijk blijken.

Tengevolge van de golfbelasting op de constructie tijdens de maatgevende storm wordt een maximale wateroverspanning verwacht van ca.  $5.000 \text{ N/m}^2$ . De invloed daarvan op de stabiliteit van de caissons is verwaarloosbaar.

De schuifweerstand van de caissons over de drempel wordt verzekerd door het toepassen van stalen pennen aan de onderzijde van de ondersteuningsvlakken.

Op grond van proefnemingen blijkt daarbij een wrijvingscoëfficiënt van 0,5 gerealiseerd te kunnen worden, inclusief een veilige marge. Bijzondere aandacht zal echter gegeven moeten worden aan de bestendigheid van de pennen tegen corrosie en slijtage.

De berekende zettingen voor de drie sluitgaten Roompot, Schaar en Hammen, gebaseerd op sondeerwaarden en enkele samendrukkingsproeven, ontlopen elkaar niet veel.

De initiële zetting tijdens de plaatsing van de caissons met drie ondersteuningsvlakken op de drempel varieert van 0,1 tot 0,25 m, waarbij de zetting van de 4 m dikke drempel is inbegrepen. De zetting van de drempel en de ondergrond onder invloed van de cyclische golfbelasting tijdens de maatgevende storm zal naar verwachting ca. 0,25 m bedragen, waarvan 0,03 m aan samendrukking van de drempel moet worden toegeschreven. De zetting als gevolg van cyclische belasting gaat gepaard

met extra verdichting van de ondergrond: de kwaliteit van de fundering wordt daardoor in de loop van de tijd iets beter. Bij dit proces zijn deformatieverschillen tussen de caissons echter onvermijdelijk; de wegverbinding over de caissons moet om deze reden nastelbaar zijn.

De horizontale verplaatsing tijdens maatgevende stormomstandigheden belooft 0,1 à 0,2 m.

Aangezien een groot deel van de drempel in inbaggeringen gemaakt wordt, kan de drempelopbouw verstoord worden door aanzanding, hetgeen zowel van invloed is op de filtereigenschappen als op de bereikbare verdichting. Maatregelen om aanzanding tegen te gaan of de invloed ervan op de stabiliteit van de caissons te verminderen zijn in het onderhavige ontwerp niet verwerkt.

Mocht het zand dat zich in het steenskelet van de drempel bevindt naderhand uitspoelen, dan kunnen de mechanische eigenschappen minder worden dan in het ontwerp is aangenomen.

Bij minder dan optimale eigenschappen van de drempel kan toch voldoende stabiliteit worden verkregen door bijvoorbeeld de verhouding tussen de optredende horizontale belasting en de verticale belasting ten gunste van het eigen gewicht te vergroten door het aanbrengen van extra ballast en door verkleining van het optredende moment door een breder caisson met grotere afstanden tussen de oplegvlakken. In het uiterste geval kan van een drievlaksoplegging worden overgegaan op een volledige ondervulling van de caissons.

In verband met de heterogeniteit van de bodem is de verdeling van de tegendruk onder de caissonbodem dan echter niet nauwkeurig te voorspellen.

Een ontwerp voor een voldoende sterke caisson is echter realiseerbaar gebleken. Ook de stabiliteit blijkt bij een dergelijk caissonontwerp verzekerd te zijn mits de hoek van inwendige wrijving van het drempelmateriaal onder de diepst gefundeerde caissons tenminste  $32^{\circ}$  bedraagt.

Bij een nog slechter verdichtingsresultaat kan de stabiliteit worden verzekerd door ballasten.

Bij  $\varphi = 30^{\circ}$  zal een ballasthoeveelheid van ca. 10 % van het effectieve caissongewicht dan voldoende zijn.

Ook een aantal problemen met betrekking tot onderloopsheid worden bij deze volledige oplegmethode ondervangen en de totale zettingen evenals de horizontale verplaatsingen zijn geringer dan bij de driepuntsoplegging.

Anderzijds kan aan maatregelen worden gedacht om het uitspoelen van zand te voorkomen opdat de eigenschappen van de drempel wel voldoen aan de gestelde eis van het ontwerp. Eén van de reële mogelijkheden is het aanbrengen van een zanddichte constructie over de drempel.

Op basis van hiervoor vermelde maatregelen ter ondervanging van de problematiek van aanzanding is te verwachten dat een betrouwbaar ontwerp voor de fundering op staal realiseerbaar is.

Ten aanzien van de kosten verbonden aan een dergelijke aanpassing van het ontwerp moet echter worden aangenomen dat zij aanzienlijk zullen zijn.

#### 5.2.4. Bodembescherming en afdichting

De bodembescherming bestaat buiten de directe omgeving van de kering uit ballaststukken, namelijk blokkenmatten en steenasfaltmatten.

De lengte van de bodembescherming is weergegeven in de navolgende tabel.

|         | <u>zee-zijde</u> | <u>Oosterschelde-zijde</u> |
|---------|------------------|----------------------------|
| Roompot | 850 m            | 650 m                      |
| Schaar  | 450 m            | 450 m                      |
| Hammen  | *650/450 m       | *650/450 m                 |

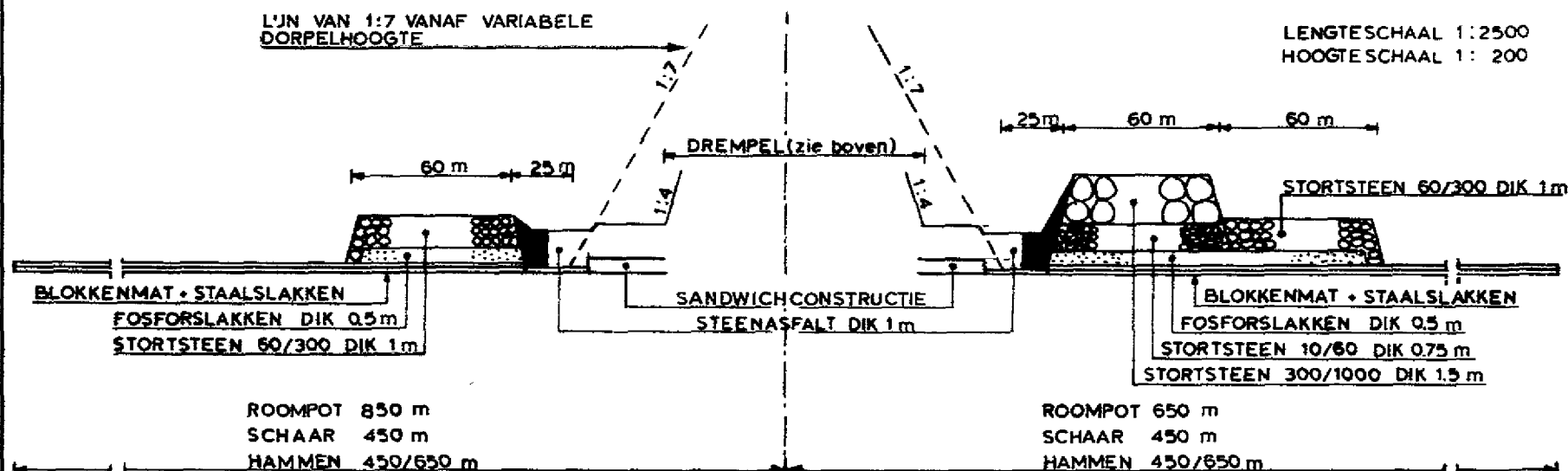
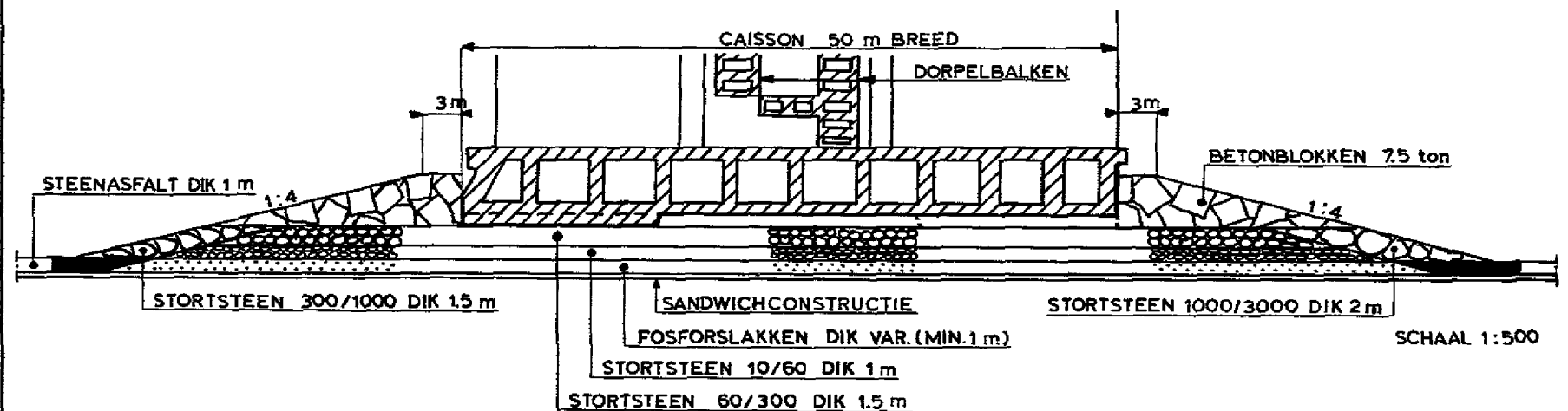
(\* 650 m aan de Schouwense oever in verband met de ongunstige vorm van de damaanzet).

Ter plaatse van de te maken inbaggeringen zal de reeds aanwezige bodembescherming verwijderd moeten worden. De stortebedden worden gedimensioneerd op de situatie dat een schuif weigert, of bij dubbele kering, indien in één doorstroomopening beide schuiven weigeren.

De stortebedden bestaan over het zwaarst aangevallen gedeelte uit steenasfalt met een dikte van 1 m, en over de minder zwaar aangevallen gedeelten uit steenbestortingen op de bal-

ZEEZUDE

OOSTERSCHELDEZUDE



CAISSONS GEFUNDEERD OP STAAL  
DWARSPROFIEL DREMPEL EN BODEMBESCHERMING



laststukken die, naarmate zij verder van de caissons verwijderd zijn, lichter gedimensioneerd worden. Dankzij de open constructie van de drempel kunnen zich slechts beperkte drukverschillen manifesteren aan weerszijden van de in steenasfalt uitgevoerde delen van de stortebedden.

Om de gevolgen van de onderloopsheid te ondervangen worden de caissons nadat zij op de drempel zijn geplaatst aangestort met betonblokken van 7,5 ton. Dit heeft ook een zekere positieve invloed op de stabiliteit van de constructie. Deze aanstorting wordt over het drempeltalud voortgezet met stenen van 1.000 tot 3.000 kg om dit talud stroombestendig te maken voor het geval dat een der schuiven in de caissons weigert. De drempels hebben een talud van 1 : 4.

#### 5.2.5. Constructie (fig. 19)

Een caisson bestaat uit een onderkoker, twee kopwanden, twee tussenwanden en een bovenkoker, die een functie heeft in de stijfheid van de caisson en tevens dient als ruimte voor de bewegingswerken. Op de bovenkoker is een werkweg, tevens secundaire verkeersweg geprojecteerd. Het doorstroomprofiel wordt vernauwd door dorpels die op de onderkoker komen te rusten. De caissons worden zo uitgevoerd dat het doorstroomprofiel in een later stadium desgewenst vergroot kan worden tot 20.000 m<sup>2</sup> door het verwijderen van een aantal dorpels en het vergroten der schuiven.

Voor een gedetailleerde beschrijving moge verwezen worden naar hoofdstuk 6.

Voornaamste gegevens:

|                               | caissons op<br><u>N.A.P. -25,5 m</u> | caissons op<br><u>N.A.P. -18 m</u> |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Drempeldiepte                 | N.A.P. -25,5 m                       | N.A.P. -18 m                       |
| Kerende hoogte                | N.A.P. + 7 m                         | N.A.P. + 7 m                       |
| Uitwendige afmetingen (lxbxh) | 53 x 50 x 32,5 m                     | 52 x 50 x 25 m                     |
| Wanden                        | h.o.h. 14,4 m                        | h.o.h. 14,4 m                      |
| Wanddikte:                    |                                      |                                    |
| kopwanden                     | 2,3 m                                | 1,8 m                              |
| tussenwanden                  | 1 m                                  | 1 m                                |

|                                                           | caissons op<br>N.A.P. -25,5 m | caissons op<br>N.A.P. -18 m |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Wanddikte:                                                |                               |                             |
| t.p.v. schuif                                             | 2,6 m                         | 2,6 m                       |
| Hoogte onderkoker                                         | 5 m                           | 4,5 m                       |
| ( + voor oplegvlak)                                       | 1 m                           | 1 m                         |
| Hoogte bovenkoker                                         | 6 m                           | 6 m                         |
| Gemiddelde diepgang<br>zonder toegevoegd<br>drijfvermogen | 17,01m                        | 14,03m                      |
| Beton hoeveelheid                                         | 18.977 m <sup>3</sup>         | 15.220 m <sup>3</sup>       |
| Waterverplaatsing                                         | 45.000 m <sup>3</sup>         | 37.000 m <sup>3</sup>       |

In totaal zal ca. 1.000.000 m<sup>3</sup> beton verwerkt worden.

#### 5.2.6. Schuiven

Het afsluitbare gedeelte van de kering zal bestaan uit stalen hefschuiven. Het ontwerp voorziet in de mogelijkheid een dubbele kering te installeren. De bovenkoker begrenst het sluitgat boven N.A.P. +1 m, waardoor het totaal te installeren schuifoppervlak beperkt blijft.

Bij een effectief doorstroomprofiel van 11.500 m<sup>2</sup> wordt voldaan aan de gestelde eis van 2,3 m getijverschil bij Yerseke. Het is echter gewenst dat de stormvloedkering over een lengte van 200 m voor onderhoud kan worden dichtgezet. Daarom wordt voorzien in een effectief doorstroomprofiel van 12.700 m<sup>2</sup>.

De bovenkant van de dorpelbalken is gebaseerd op dit effectieve doorstroomprofiel; voorts verspringt ze zo, dat een zo goed mogelijk stroombeeld wordt bereikt. De mogelijkheid van verdere correctie op het stroombeeld wordt opengehouden doordat de schuiven aan de flanken van de sluitgaten 0,5 m dieper worden uitgevoerd. Correcties kunnen dan worden uitgevoerd door variatie van de hoogte van de bovenste dorpelbalken. De afvoercoëfficiënten  $\mu$  die gehanteerd worden voor het ontwerp bedragen 0,85 voor de Roompot en 0,9 voor de Hammen en de Schaar.

De dorpelbalken kunnen in één der beide sponningen worden afgevierd en van daar uit doorgeschoven worden naar de tweede

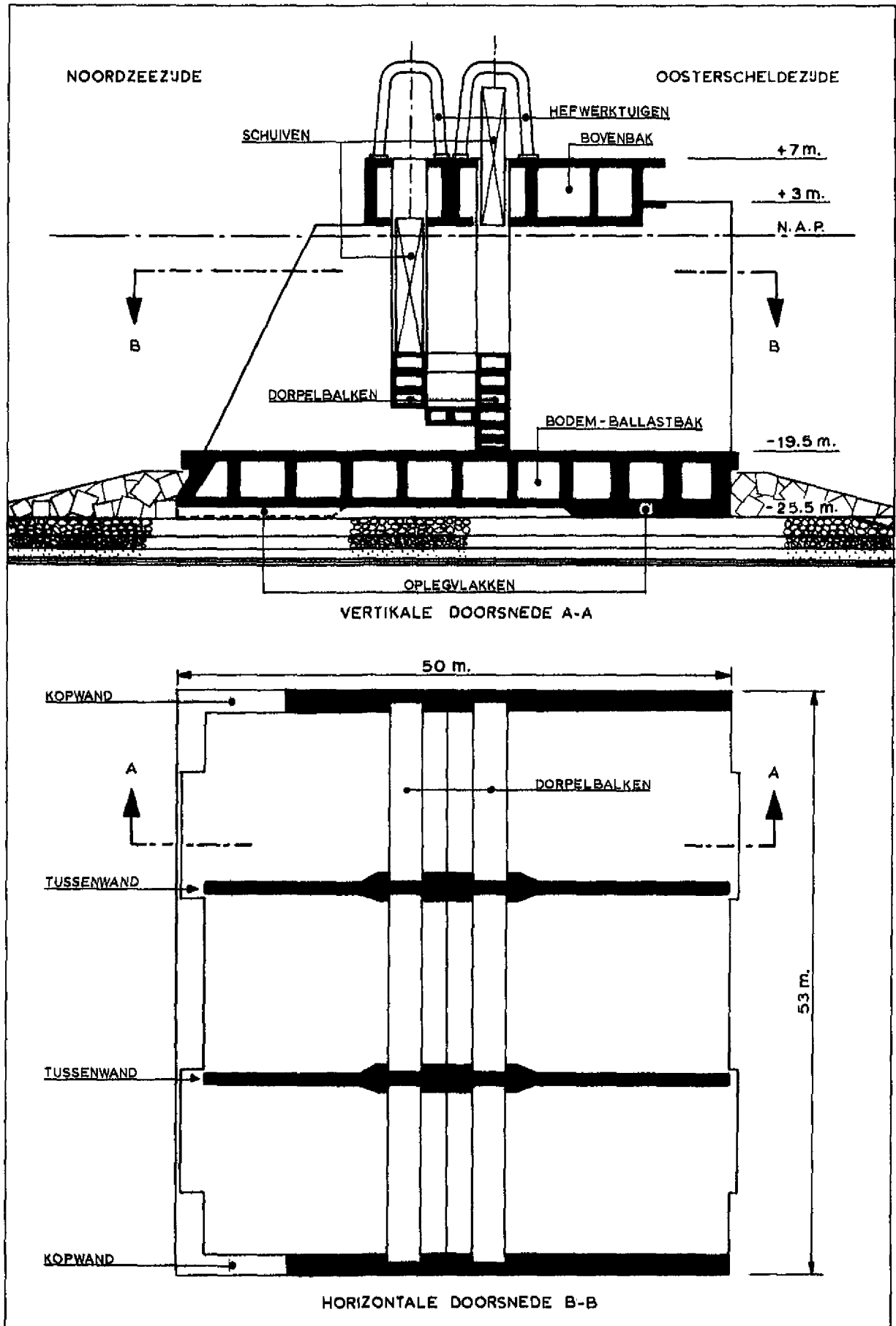


Fig. 19

Doorsneden constructie caissons gefundeerd op staal

sponning. Daardoor is het mogelijk de hefschuiven reeds te installeren voor de plaatsing van de caissons in de sluitgaten.

Indien als eis wordt gesteld dat ook de tweede kering reeds bij de ingebruikstelling van de stormvloedkering gereed moet zijn, zal een aanpassing van het ontwerp noodzakelijk zijn. Aanpassing kan worden gevonden door te voorzien in een tijdelijke geleiding waarlangs de dorpelbalken vanaf de zee-zijde onder water kunnen worden ingebracht, dan wel door aanpassing van het ontwerp van de bovenkoker zodanig dat de centrale I-ligger als geprefabriceerd element kan worden gemonteerd na het plaatsen van de dorpelbalken. In de opgestelde werkschema's is reeds uitgegaan van deze aanpassing.

#### 5.2.7. Doorstroomprofiel van 20.000 m<sup>2</sup>

Het ontwerp van de doorstroomopeningen voorziet in een eventuele aanpassing van het effectief doorstroomprofiel naar 20.000 m<sup>2</sup>. Ook daarbij is aan de hefschuiven in de flanken van de sluitgaten een overdiepte van 0,5 m gegeven. De afvoercoëfficiënten zullen dan 0,9 bedragen voor de Roompot en 0,95 voor de Hammen en de Schaar.

De overige aanpassingen van het ontwerp die noodzakelijk zullen zijn voor een profiel van 20.000 m<sup>2</sup> hebben betrekking op de dimensionering van de stortebedden en de lengte van de bodembescherming.

Vooruitlopend op het dienaangaande te verrichten hydraulische onderzoek wordt aangenomen dat de stortebedden aan weerszijden van de kering met 60 m zullen moeten worden verlengd en dat alle bestortingen en steencategorie zwaarder zullen moeten worden uitgevoerd dan bij het profiel van 11.500 m<sup>2</sup>.

De bodembescherming zal, naar wordt aangenomen, voor aanpassing aan het profiel van 20.000 m<sup>2</sup> met 200 m moeten worden verlengd.

### 5.3. PIJLERS OP PUTTEN

#### 5.3.1. Inleiding

Bij een stormvloedkering bestaande uit pijlers op putten wor-

den de op de kering uitgeoefende verval- en golfbelastingen afgeleid naar de pijlerwanden met een onderlinge afstand van 40 m hart op hart, die gefundeerd worden op putten reikend tot in de draagkrachtige lagen.

De putten zowel als de pijlerwanden worden geprefabriceerd in één der bouwputten dan wel in een nader in te richten werkterrein aan de vaste wal. De putten worden getransporteerd, afgezonken en op diepte gebracht met behulp van een Catamaranschip.

Boven de putten, die een dwarsdoorsnede hebben van 46x46m, en een maximale hoogte van 26 m, wordt vooraf een stalen bouwkuip gemonteerd, waarin de pijlerwand kan worden afgevierd nadat de put op diepte is gebracht.

Ook het transport en het afvieren van de geprefabriceerde pijlerwand, die een afmeting heeft van 35 x 4,5 m, en een hoogte van maximaal 36 m, geschiedt met behulp van het Catamaranschip.

Na het droogzetten van de put worden put en pijlerwand met constructiebeton aan elkaar verbonden.

Tenslotte wordt de kuip - wederom met behulp van het Catamaranschip - over de gereedgekomen pijler getild.

#### 5.3.2. Algemene vormgeving (fig. 20, 21 en 22)

Aan de sluitgaten is ook hier de grootst mogelijke lengte gegeven. Door de funderingswijze is het bij dit ontwerp mogelijk ook het noordelijk deel van de Hammen te benutten. Voor de drie hoofdgeulen bedragen de lengten van de stormvloedkering respectievelijk:

Roompot 38 x 40 m = 1.520 m

Schaar 18 x 40 m = 720 m

Hammen 24 x 40 m = 960 m

Totaal 3.200 m

Het totaal aantal te plaatsen pijlers bedraagt 83.

Bij het ontwerp van de dam aanzetten wordt een zo goed mogelijke aanstroming nagestreefd. Dankzij de slanke dimensionering van de pijlerwanden blijft de totale vernauwing van de sluitgaten na plaatsing van de pijlers en de daaromheen aan

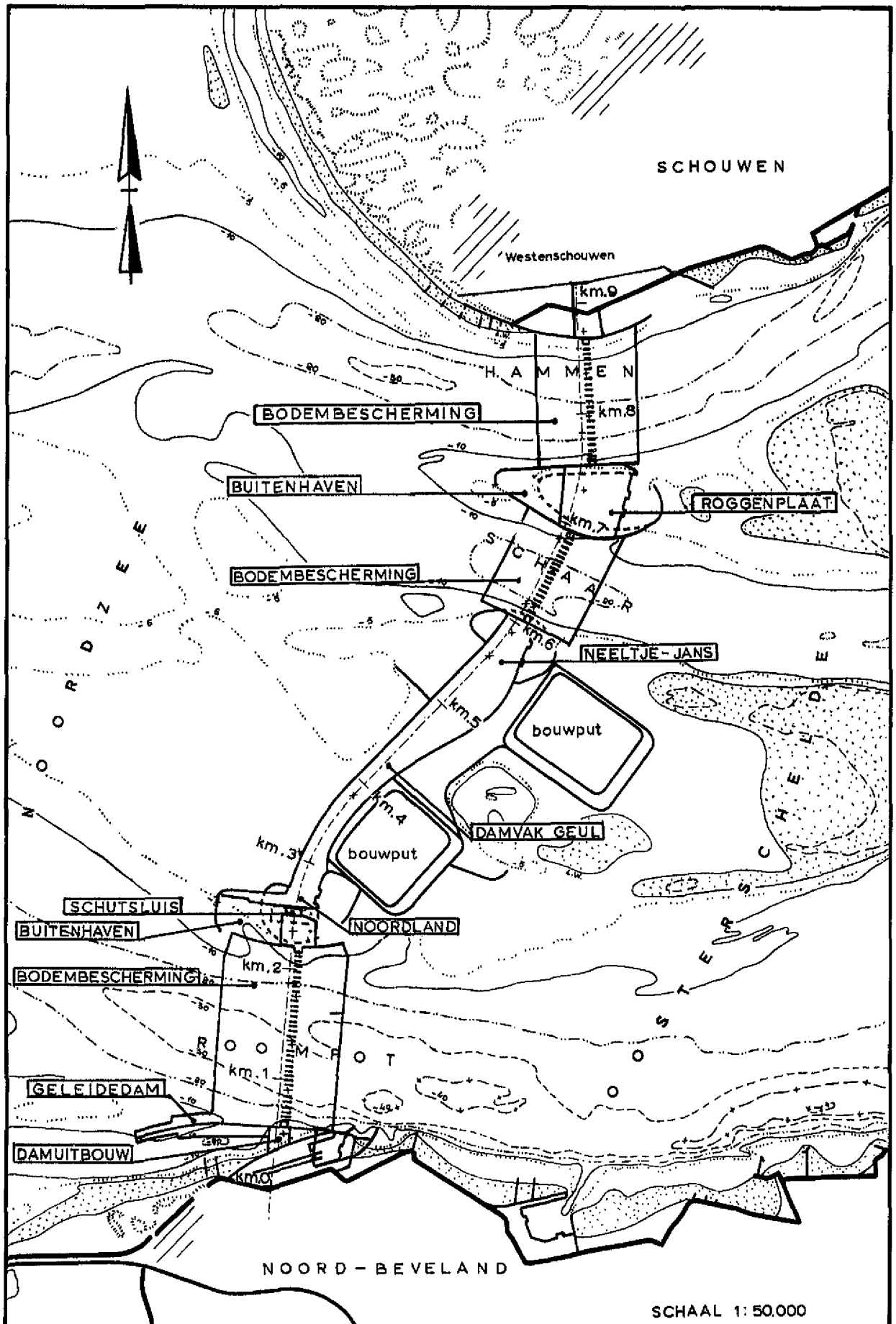
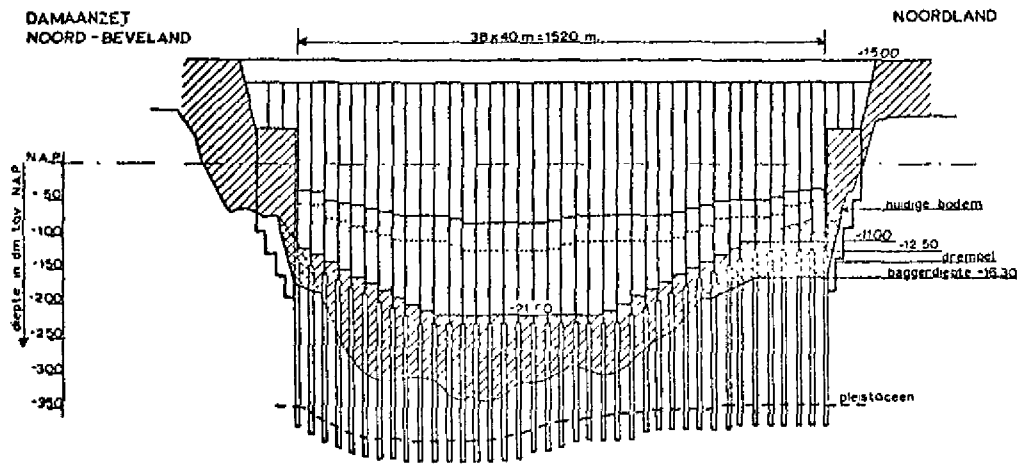
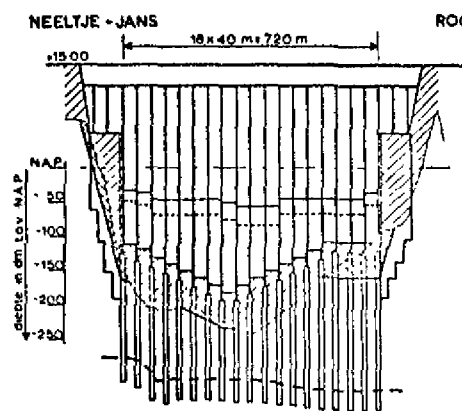


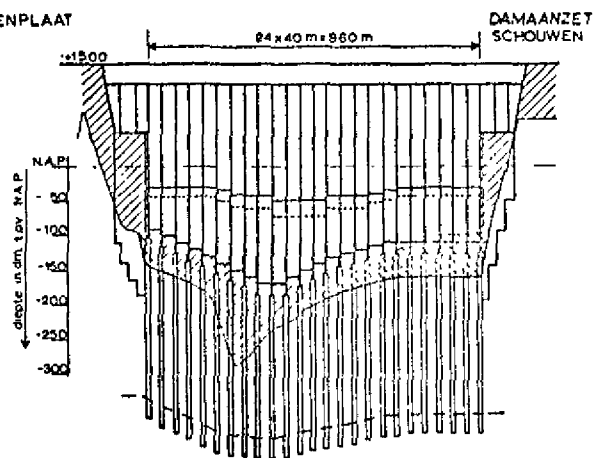
Fig. 20  
Situatie stormvloedkering pijlers gefundeerd op putten.



SLUITGAT ROOMPOT



SLUITGAT SCHAAR VAN ROGGENPLAAT



SLUITGAT HAMMEN

- dorpeelhoogte 11.600 m<sup>2</sup> profiel
- - - dorpeelhoogte 20.000 m<sup>2</sup> profiel
- ▨ ingraving
- ▤ ophoging

PULERS GEFUNDEERD OP PUTTEN  
LENGTEPROFIEL

Fig. 21

te leggen drempelconstructie beperkt.

In verband met de diepgang die de Catamaran bereikt wanneer hij een geprefabriceerde put vervoert, is een bodemdiepte van tenminste N.A.P. -15 m aangehouden.

Eén en ander heeft tot gevolg dat het bestaande doorstroomprofiel van de sluitgaten na plaatsing der putten tamelijk wel kan worden aangehouden. De noodzakelijke inbaggeringen blijven daardoor relatief bescheiden van omvang, terwijl het totale doorstroomprofiel na het plaatsen van de laatste pijler nog  $43.000 \text{ m}^2$  bedraagt.

### 5.3.3. Fundering

De fundering wordt gevormd door putten. De putten worden op diepte gebracht door met behulp van een cutterinstallatie de de grond uit de putten te verwijderen. In verband met mogelijke verstoring van de grond rond de putten als gevolg van het cutteren, wordt over de volle hoogte een inwendige wrijvingshoek van  $30^\circ$  voor de grond aangehouden. Als de put op diepte is gebracht wordt hij ter verhoging van de stabiliteit gevuld met beton en zand. Uit stabiliteitsberekeningen blijkt dat de onderkant van de putten over het algemeen over een diepte van 3 tot 5 m in de pleistocene laag moet komen. De juiste diepte zal aan de hand van een nauwgezet onderzoek ter plaatse van alle pijlers moeten worden vastgesteld. Zonodig zal de grondslag onder de put worden verdicht.

Bij de stabiliteitsberekeningen is uitgegaan van het ongunstige geval van een put in het diepe gedeelte van de sluitgaten, waar de bodem zich op N.A.P. -35 m bevindt. De onderkant van de put zal in dat geval op ca. N.A.P. -45 m moeten worden geplaatst.

In de Schaar waar de draagkrachtige lagen relatief hoog gelegen zijn, is in verband met het krachtenevenwicht bij het droogzetten van de kuip - dat nodig is voor het plaatsen en bevestigen van de pijlerwanden - op enkele plaatsen een dieper funderingsniveau gekozen dan uit het oogpunt van de stabiliteit in de eindfase noodzakelijk zou zijn.

De zettingen en de deformaties van de putten bij golfbelasting zijn berekend met behulp van beddingsconstanten voor de



grondslag onder de put en de grondsteun terzijde. De waarden voor deze beddingsconstanten zijn gebaseerd op proeven in de Oosterschelde en op de sondeerresultaten; daarbij is gerekend met een eventuele verdichting onder de put. Voorts is de blijvende vervorming ten gevolge van de cyclische golfbelastingen bepaald.

De berekeningen leveren de volgende resultaten:

Ten gevolge van eigen gewicht + verval:

|                                          |   |      |      |
|------------------------------------------|---|------|------|
| gemiddelde verticale zakking             | : | 4    | cm   |
| horizontale verplaatsing op N.A.P.- 19 m | : | 10   | cm   |
| hoekverdraaiing                          | : | 1,75 | mm/m |

Elastische deformatie ten gevolge van de maximale golfbelasting bij de maatgevende storm:

|                                      |   |   |      |
|--------------------------------------|---|---|------|
| gemiddelde verticale beweging        | : | 4 | cm   |
| horizontale beweging op N.A.P.- 19 m | : | 8 | cm   |
| hoekverdraaiingsamplitude            | : | 2 | mm/m |

De in het ontwerp van de drempel voorziene steenasfaltlagen kunnen mogelijk een zodanig aandeel in de krachtenoverdracht overnemen, dat de hierboven vermelde deformaties bij golfbelasting niet onaanzienlijk worden gereduceerd.

De berekeningen dienaangaande dragen echter nog een voorlopig karakter.

Blijvende vervormingen ten gevolge van de cyclische belastingen:

|                                                       |   |     |      |
|-------------------------------------------------------|---|-----|------|
| gemiddelde verticale zakking                          | : | 1,5 | cm   |
| blijvende horizontale verplaatsing op<br>N.A.P.- 19 m | : | 5   | cm   |
| hoekverdraaiing                                       | : | 1,5 | mm/m |

Ook de waterspanningsontwikkeling is berekend, die in het pleistocene zand onder de put optreedt bij cyclische belasting ten gevolge van een 10 uur aanhoudende significante golfbelasting behorend bij de maatgevende storm. Daarbij is rekening gehouden met de mobilisatie van de passieve grondweerstand aan de Oosterscheldezijde van de put. Als resultaat werd een wateroverspanning van  $0,2 \text{ ton/m}^2$  gevonden, hetgeen ten opzichte van de heersende gemiddelde korrelspanning onder de belaste put verwaarloosbaar klein is.

#### 5.3.4. Bodembescherming en afdichting

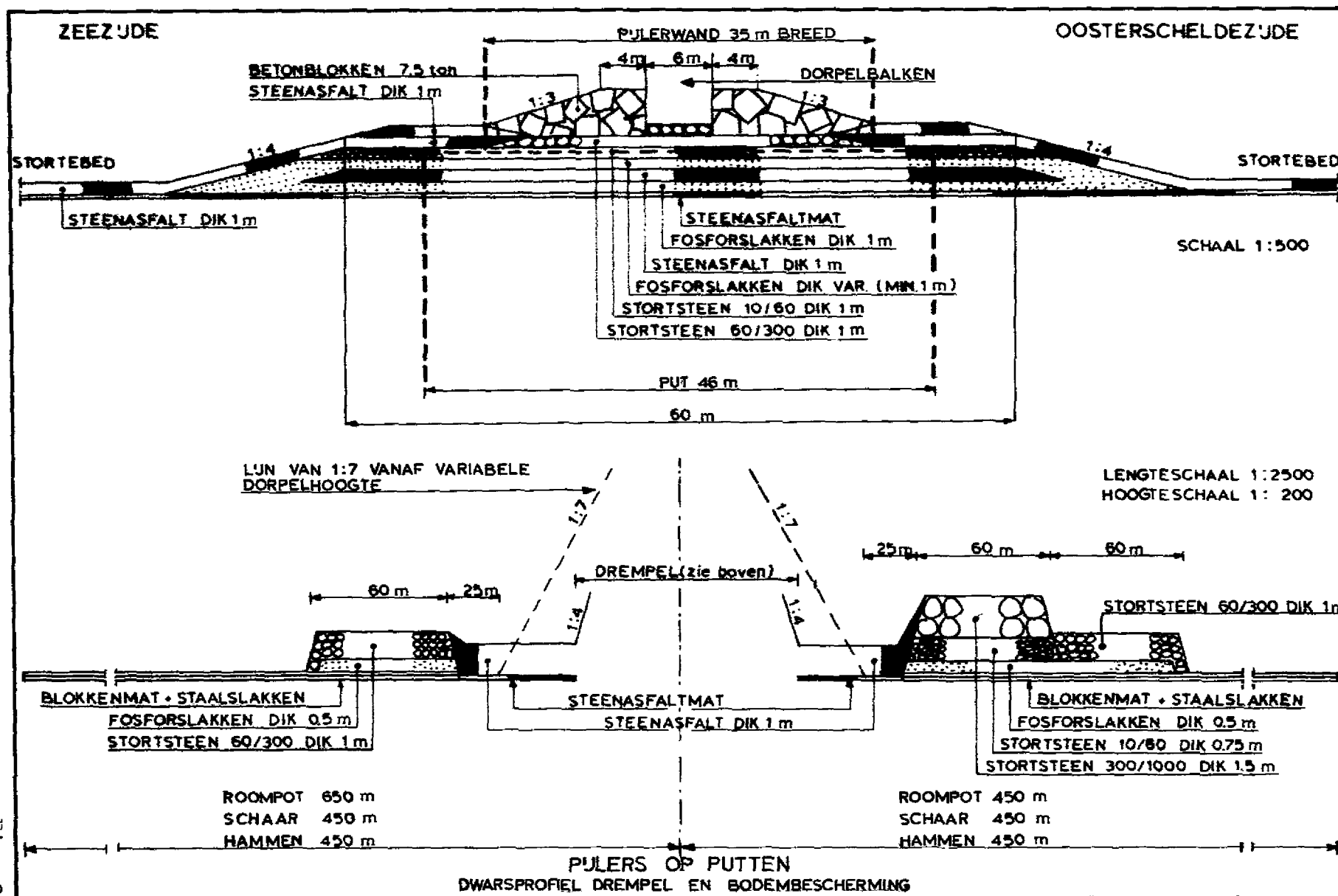
De lengte van de bodembescherming in de Roompot is gesteld op 650 m aan de zeezijde en 450 m aan de Oosterscheldezijde en in de Hammen en de Schaar op 450 m aan weerszijden van de as. Door de grotere sluitgatlengte en de nu gunstiger vorm van de damaanzet bij Schouwen kan met een kortere bodembescherming worden volstaan dan bij de caissons op staal.

De thans reeds in de as van de sluitgaten aanwezige bodembescherming zal voor het op diepte brengen van de putten worden verwijderd. Na het plaatselijk uit te voeren baggerwerk wordt een nieuwe bodembescherming aangebracht die bestaat uit 17 m brede banen steenasfaltmat tussen de toekomstige putten, afgewisseld met banen asfaltmastiek van 23 m breed en twee maal 2,5 m overstek.

Voorafgaand aan de plaatsing van een put wordt de mastiek plaatselijk verwijderd over een oppervlak gelijk aan de afmetingen van de put, vermeerderd met 1,5 m extra in verband met onnauwkeurigheden rondom.

Het aldus ontstane gat wordt tijdelijk afgesloten door een verplaatsbare afdekking, die vlak voor het afzinken van de put wordt verwijderd.

Na het plaatsen en tijdens het op diepte brengen van de put zal met name in de diepere delen der sluitgaten sterke ontgronding kunnen optreden in de 1 à 2 m brede kier tussen putwand en bodembescherming. Aangezien deze ontgronding niet zulke vormen mag aannemen dat zij de stabiliteit van de put in gevaar zou brengen, zullen de koppen van de put tijdens het afzinken worden bestort met grind van een korreldiameter van 6 tot 12 cm. Dit grind heeft een ongunstige invloed op het zakken van de put, met name in de ondiepe delen, waar de putten over een grote diepte de bodem ingecutterd worden. Door de grote inklemmingslengte zijn daar echter ook grotere ontgrondingen toelaatbaar. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of alternatieve maatregelen nodig zijn, zoals een kraagconstructie rondom de putten. Nadat een put op diepte is gebracht wordt de kier tussen bodembescherming en put gedicht met asfaltmastiek.



Aangezien een bestorting van los materiaal onvoldoende stabiel bleek te zijn wanneer één van de schuiven zou weigeren, zijn de stortebedden nabij de as uitgevoerd in steenasfalt. De breedte van deze dichte stortebedden bedraagt steeds 7 maal het hoogteverschil tussen bodem en bovenste dorpelbalk vermeerderd met 25 m. Voor de nadere precisering van de noodzakelijke breedte zal nog waterloopkundig onderzoek nodig zijn.

De verder van de as gelegen voortzetting van de stortebedden bestaat uit zwaar bestorte ballaststukken. Ter voorkoming van schade aan de stukken wordt onder de bestorting eerst een laag van 0,5 m fosforslakken aangebracht. Ook de drempel bleek wanneer er een schuif weigert, slechts stabiel indien de bovenlaag wordt uitgevoerd in steenasfalt. Om te voorkomen dat de steenasfaltlaag omhoog gedrukt wordt is nabij de dorpelbalken een open constructie gekozen. Aldaar voorziet het ontwerp in een bestorting met betonblokken van 7,5 ton per stuk over een hoogte van 4 m, met een berm van eveneens 4 m en taluds onder 1 : 3; daaronder komt een laag stortsteen 60/300 kg.

Ter voorkoming van concentratie van het verval in het onderliggende zand wordt daarenboven voorzien in een 60 m brede en 1 m dikke steenasfaltlaag onder de kering, die zowel van boven als van onderen geheel ingebed ligt in een doorlatende fosforbestorting van minimaal 1 m dik.

Voorafgaand aan het aanbrengen van de steenasfaltkap wordt deze kern afgestort met een laag stortsteen 10/60 kg. Bij de aldus opgebouwde drempel zijn de potentiaalverschillen aan weerszijden van de steenasfalt zover gereduceerd, dat volstaan kan worden met een dikte van 2 m steenasfalt over de kruin van de drempel en 1 m over de taluds en de stortebedden.

Essentieel voor de afdichting is een goede aansluiting van het steenasfalt op de putwand. Ten gevolge van de bewegingen van de put bij extreme golfbelasting is kiervorming ter plaatse van de overgang echter niet te vermijden.

Aan de hand van hydraulisch onderzoek zal moeten worden on-

derzocht of de ontworpen constructie voldoende garantie biedt tegen uitspoeling van zand tijdens de maatgevende stormomstandigheden. De afdichtingsproblematiek wordt in ieder geval oplosbaar geacht.

#### 5.3.5. Constructie(figuur 23)

Elke pijler bestaat uit een pijlerwand die ingeklemd is in een put. De constructie wordt gecompleteerd door een bovenbouw, bestaande uit twee kokers die dienst doen als verkeers- en werkweg. Constructief vervullen deze kokers uitsluitend een stempel-functie tussen de pijlers. Loodrecht op de as van het tracé kunnen de pijlers onafhankelijk van elkaar vervormen. De verbinding tussen de pijlerwand en de put bestaat uit een gewapend-betonnen en gedeeltelijk voorgespannen betonplaat, die in de drooggemalen stalen bouwkuip gemaakt wordt. Door deze werkwijze is het mogelijk plaatsafwijkingen van de put tot 1,5 m in horizontale en 0,5 m in verticale zin te compenseren.

Tijdens het aanbrengen van het constructiebeton is de pijler voor personeel bereikbaar via een hulpligger. Nadat de verbinding tussen de pijlerwand en de pijler is gereedgekomen en de kuip is afgevoerd wordt de hulpligger doorgetrokken naar het volgende steunpunt en kan de definitieve bovenbouw worden gemonteerd.

Vanaf de bovenbouw kunnen vervolgens de schuiven worden geïnstalleerd. Ter voorkoming van een te sterke reductie van het doorstroomprofiel en daarmee ter beperking van de stroomsnelheden in de bouwfase, wordt met installatie van de dorpelbalken in beginsel gewacht tot het eind van de bouw van de kering. Tijdens de bouw van het drempellichaam om de pijlers kan het echter met name aan de flanken van de sluitgaten plaatselijk gewenst zijn dat de stroomsnelheid tijdelijk iets wordt opgevoerd, om aangezande delen van de bodem schoon te spoelen. Verwacht wordt dat deze werkwijze noodzakelijk zal zijn in de ingebaggerde delen van de sluitgaten, met name in het noordelijk deel van de Hammen. In het tijdsschema is daartoe voldoende "ruimte" aanwezig.

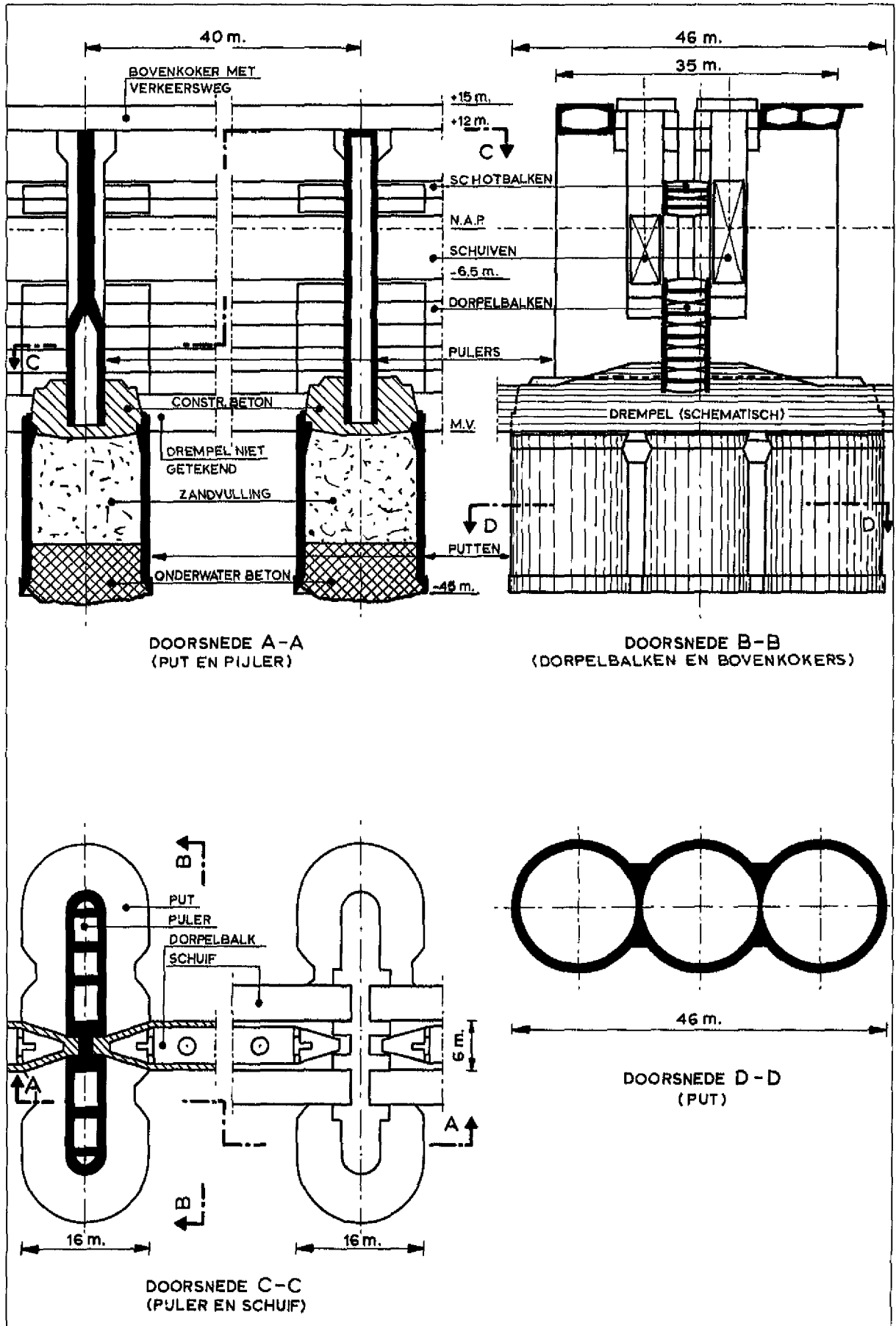


Fig. 23

Doorsneden constructie pijlers gefundeerd op putten

#### 5.3.6. Schuiven

Door de grote onderlinge afstand van de pijlers zijn de schuiven aanzienlijk langer dan bij de stormvloedkering met caissons. Evenals bij de caissons op staal voorziet het ontwerp in een dubbele kering met stalen hefschuiven. Bij de stormvloedkering met pijlers is het zonder meer mogelijk ook de tweede kering in 1985 klaar te hebben.

Voor het overige geldt wat is gesteld bij de caissons op staal.

#### 5.3.7. Profiel van 20.000 m<sup>2</sup>

Hiervoor geldt alles wat men onder dit hoofd vindt bij caissons op staal(5.2.7).

### 5.4. CAISSONS GETFUNDEERD OP PUTTEN

#### 5.4.1. Inleiding

Een stormvloedkering bestaande uit caissons op putten vormt in tal van opzichten een combinatie van de beide andere ontwerpen. Evenals bij de stormvloedkering met pijlers worden bij dit alternatief de op de kering uitgeoefende belastingen door een puttenfundering afgeleid naar de draagkrachtiger lagen van het Pleistoceen.

De caissons, die afmetingen hebben van 40 x 40 m, worden op drie punten opgelegd:

- Aan de Oosterschelde-zijde, nabij de hoekpunten op twee putten. De putten hebben afmetingen van 28 x 10 m
- Aan de zee-zijde centraal op één betonnen paal met een doorsnede van 9 m.

Door de excentrische positie van de putten wordt bij extreme belasting van de kering een gunstige krachtsverdracht in het funderingsvlak bevorderd. In verband daarmee kunnen de putten aanzienlijk kleiner van afmetingen zijn dan de putten van de stormvloedkering met pijlers.

De putten worden ook hier samen met een bouwkuip door een Catamaran geplaatst. In de bouwkuip kunnen de opleggingen voor de caissons gemaakt worden.

De caissons zullen in de bouwputten achter het damvak Geul gebouwd worden en door sleepboten naar de sluitgaten worden gebracht.

5.4.2. Algemene vormgeving(fig.20, 24 en 25)

De lengte van de sluitgaten bedraagt evenals bij de pijleroplossing ca. 3.200 m. Er zullen 78 caissons nodig zijn van 40 m lang met onderlinge tussenruimten van 1 m. Ten behoeve van de plaatsing van de laatste caisson wordt ook bij dit ontwerp voorzien in een vergrote tussenruimte. Deze vergrote tussenruimte maakt het noodzakelijk ter plaatse twee putten te voorzien.

Het aantal benodigde putten bedraagt daarom 84, en het aantal benodigde palen aan de Noordzee-zijde 78.

Het ontwerp van de damaanzetten, de landhoofden en de buitenhavens is in beginsel identiek aan dat voor de stormvloedkering met pijlers(fig.2).

5.4.3. Fundering

Het ontwerp van de put is gelijk aan dat van de stormvloedkering op pijlers. Ook voor wat betreft de uitvoeringswijze van de putten kan verwezen worden naar dat ontwerp. De uitvoering van de palen geschiedt in beginsel eveneens op gelijke wijze.

De deformaties ten gevolge van de statische en dynamische belastingen van de putten bedragen:

|                                            |   |     |      |
|--------------------------------------------|---|-----|------|
| gemiddelde verticale zakking               | : | 2,5 | cm   |
| horizontale verplaatsing op N.A.P. -21,5 m | : | 12  | cm   |
| hoekverdraaiing                            | : | 4,5 | mm/m |

Ook hier zullen de verplaatsingen ten gevolge van de dynamische belasting kleiner worden indien de steenasfaltlaag een steunende functie vervult.

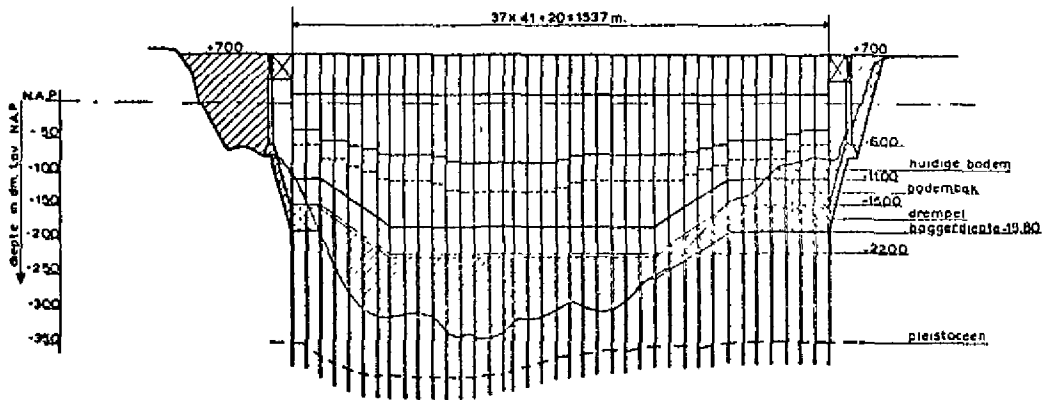
5.4.4. Bodembescherming en afdichting

De lengte van de bodembescherming zowel als de dimensionering van de stortebedden is gelijk aan die in het ontwerp voor de stormvloedkering met pijlers.



DAMAANZET  
NOORD - BEVELAND

NOORDLAND

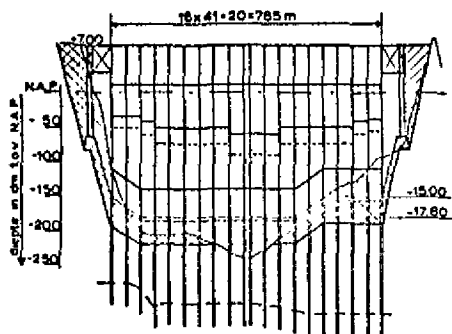


SLUITGAT. ROOMPOT

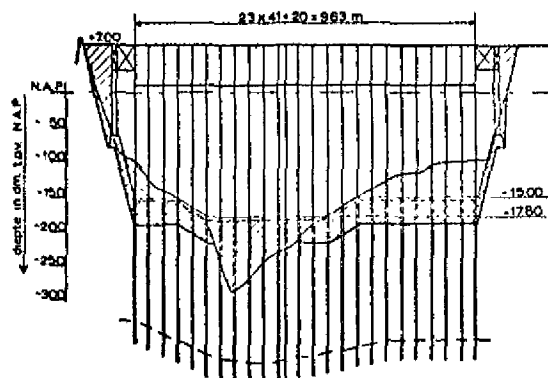
NEELTJE - JANS

ROGGENPLAAT

DAMAANZET  
SCHOUWEN



SLUITGAT SCHAAR VAN ROGGENPLAAT



SLUITGAT HAMMEN

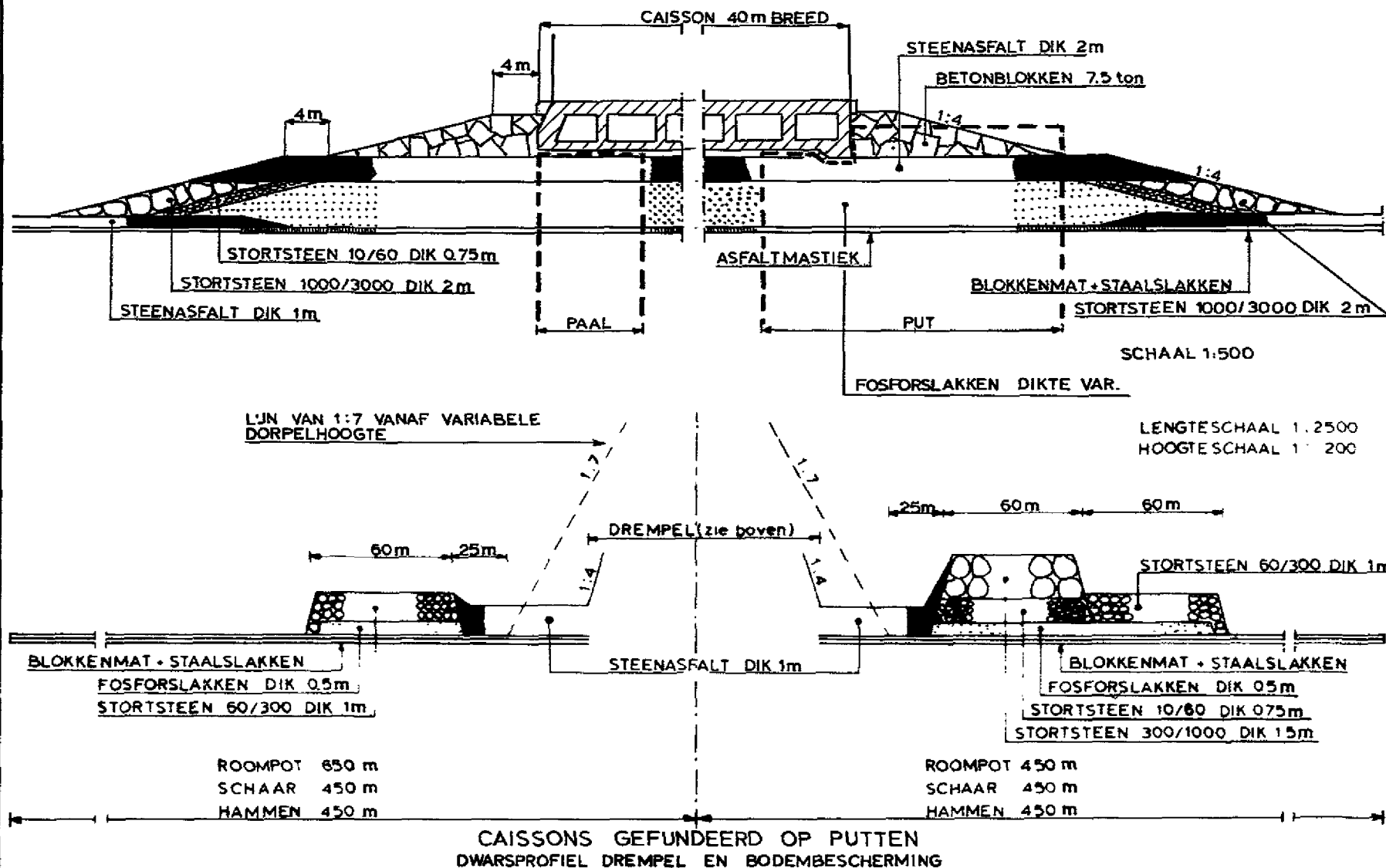
- dorpelhoogte 11.800 m<sup>2</sup> profiel
- dorpelhoogte 20.000 m<sup>2</sup> profiel
- ▨ ingraving
- ▨ ophoging

CAISSONS GEFUNDEERD OP PUTTEN  
LENGTEPROFIEL

Fig. 24

ZEEZIJDE

OOSTERSCHELDEZIJDE



Het ontwerp van de drempelconstructie zou in beginsel gelijk kunnen worden gehouden aan de filterconstructie die wordt voorzien voor de drempel van de "op staal" gefundeerde caissons. De filterconstructie wordt echter verstoord door de putten, waardoor de problemen met de afdichting groter zijn dan bij de caissons op staal. Ter vermindering van het reeds bij de caissons op staal gesignaleerde bezwaar van te grote verhangen in de ondergrond nabij de aanstortingen, wordt daarom een 2 m dikke steenasfaltlaag toegepast, wat hier mogelijk is omdat de caissons niet door deze laag behoeven te worden gedragen.

Een extra probleem met betrekking tot de afdichting vormt de oplegging op de putten aan de Oosterschelde-zijde. Nabij de oplegvlakken wordt daarom een mastiekafdichting aangebracht.

#### 5.4.5. Constructie (fig. 26)

Nadat de put op diepte is gebracht wordt de bouwkuip drooggezet en het constructiebeton aangebracht. Evenals bij de stormvloedkering met pijlers is deze fase kritisch ten aanzien van de zijdelingse stabiliteit van de put, zulks ten gevolge van de dan optredende opdrijfkracht.

Door het ontbreken van pijlers in de naastgelegen bouwkuipen is in dit geval koppeling over verscheidene buurkuipen noodzakelijk. Teneinde ook de krachten te kunnen overbrengen die optreden bij verval van de Oosterschelde naar zee, worden de opleggingen in het constructiebeton mede voorzien van een zelfzoekende tandvorm.

De oplegvlakken kunnen worden uitgevoerd in staal of rubber. Voor wat betreft de caissons kan worden verwezen naar het ontwerp van de caissons op staal.

Ten gevolge van de geringe caisson afmetingen en de eenduidige positie van de oplegkrachten kan de hoogte van de onderkoker beperkt blijven tot 4 m.

Aan de plaatsingsnauwkeurigheid van de caissons worden bij dit ontwerp aanzienlijk hogere eisen gesteld. Aan de hand van nader onderzoek zou moeten worden vastgesteld of de vereiste nauwkeurigheid kan worden bereikt. Vooralsnog wordt plaatsing uiterst moeilijk, zo niet onmogelijk geacht. Boven-

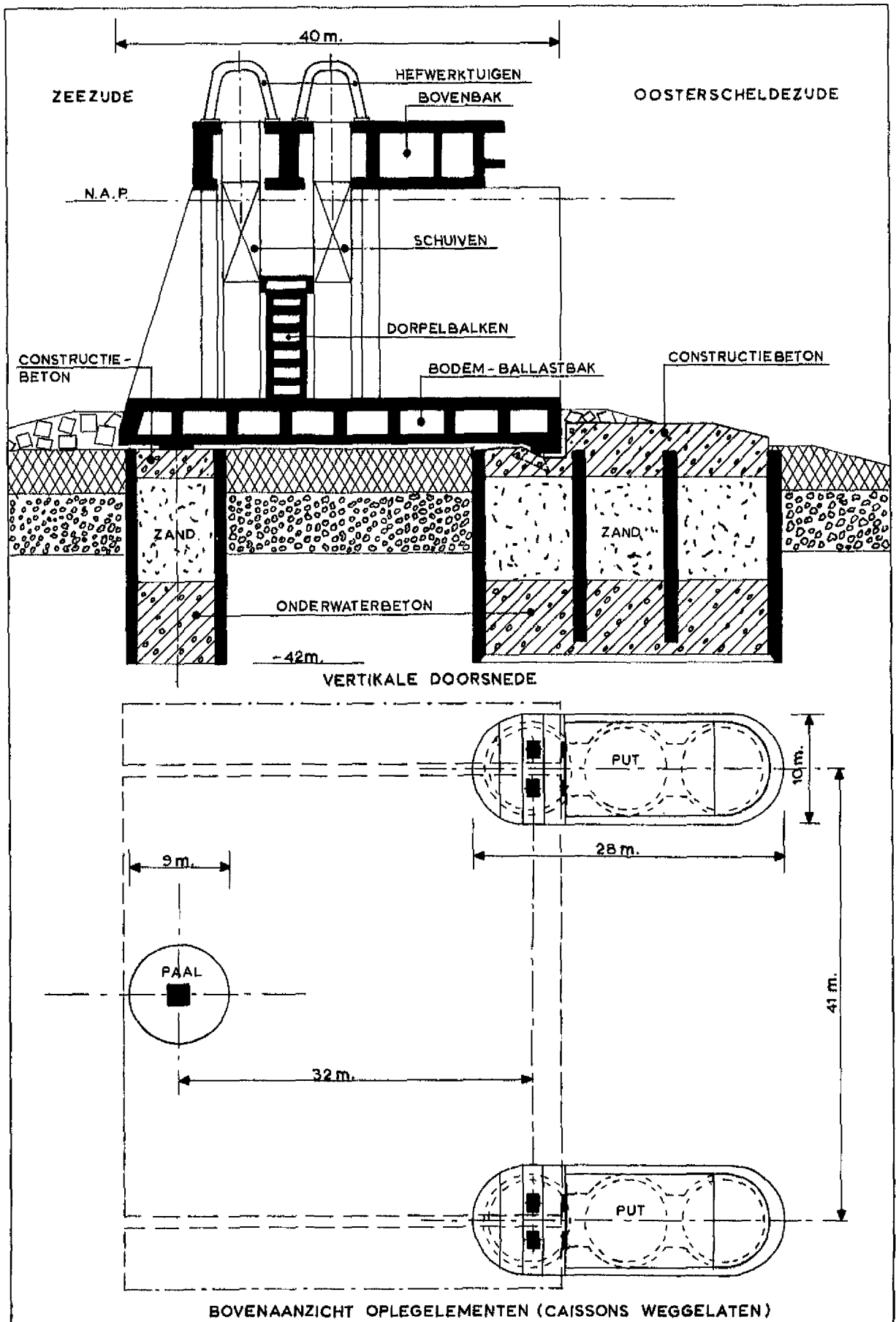


Fig. 26

Doorsneden constructie caissons gefundeerd op putten.

dien brengt de bijzondere vorm van de opleggingen met zich mee dat de drijfmiddelen moeten worden voorzien in een extra opdrijvend vermogen van 3,5 m. Voor het overige kan worden verwezen naar de beide andere ontwerpen.

#### 5.5. OVERIGE IN BESCHOUWING GENOMEN ALTERNATIEVEN

Met name in het begin van de studie zijn ontwerpen voor een stormvloedkering bekeken, die verre afwijken van de uiteindelijk gekozen ontwerpen.

Onderzocht is onder meer een hevel (fig. 27a), een constructie die zich gunstig onderscheidt door haar grote gebruikszekerheid, aangezien afsluitmiddelen geheel ontbreken en de constructie ook verder zeer beperkte mechanische voorzieningen vereist. Maar met deze constructie blijkt het niet mogelijk te zijn het voor het plaatsen minimaal benodigde doorstroomprofiel te verkrijgen. Bovendien zouden voorzieningen getroffen moeten worden om te voorkomen dat de hevel tijdens extreem hoog water toch weer zou gaan functioneren.

Ook de elders wel toegepaste rubber schulpstuw is nader bekeken. De omstandigheden in de Oosterschelde blijken echter te zwaar te zijn voor zo'n constructie.

Een aantal ideeën had als basis een caisson gefundeerd op staal, waarbij de caissonvorm bepaald werd door het afsluitmiddel.

Een voorbeeld hiervan ziet men in fig. 27b, waar een betonnen cylinder als afsluitmiddel fungeert. De cylindervormige afsluiter huist onder normale omstandigheden in de bodem van de "caisson" en is gevuld met water. Bij stormvloed wordt het water eruit gepompt, en wordt de cylinder met behulp van een kabel langs de getande helling omhoog getrokken. De wandafstanden kunnen bij dit ontwerp zeer groot zijn. Aan dit ontwerp zitten echter vele constructieve en uitvoeringstechnische problemen vast.

Andere ontwerpen hadden betonnen kokerschuiven als afsluitmiddel. De kokers kunnen hierbij allerlei vormen hebben, rechthoekige, trapeziumvormige of cylindervormige; ze kunnen uitgevoerd zijn als balans of als drijver. Fig. 27c toont een

betonnen kokerschuif, uitgevoerd als drijver, die door het in- en uitpompen van water in de kokers als afsluiting kan gaan functioneren.

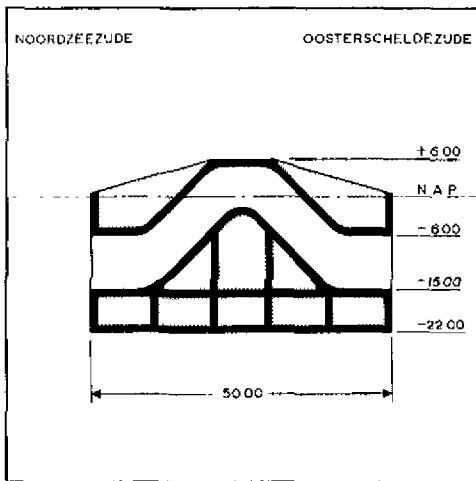
In opgedreven toestand zijn de kokers echter zeer moeilijk te beheersen. Daarom is ook dit ontwerp niet verder ontwikkeld. De zogenaamde vingerdeur, Fig. 27d bestaat uit een caisson die deels op staal, deels op putten gefundeerd is. Hierbij worden caissons op putten geplaatst; het afsluitmiddel, de zogenaamde vingerdeur, ligt normaal in de onderkoker van de caisson en in de putten verzonken, maar door het uitpompen van water gaat de deur opdrijven, zodat een waterkering ontstaat. Realisering van dit ontwerp strandt zowel op constructieve problemen als op grote kosten.

Tenslotte is ook nog een stormvloedkering in overweging genomen die "in den droge" zou worden gemaakt.

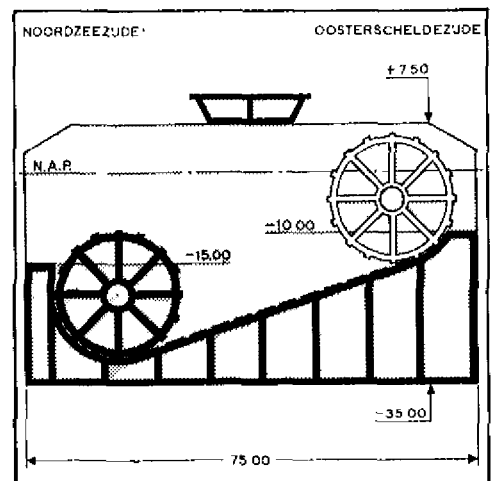
De daartoe aan te leggen bouwputten zouden langs de randen van de huidige sluitgaten worden gesitueerd, en wel zo dat tijdens de bouw een voldoende ruim doorstroombroefiel zou worden gehandhaafd.

Van deze oplossing werd uiteindelijk afgezien omdat zij een aanzienlijk langere bouwtermijn zou vergen, terwijl ze ook uit het oogpunt van kosten niet aantrekkelijker bleek dan de overige alternatieven.

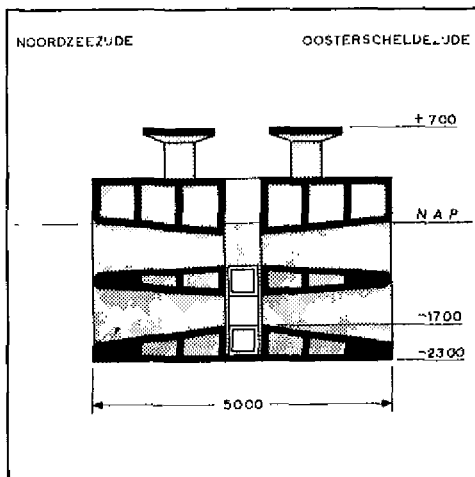
Bovendien zou deze oplossing een sterke ingreep in de morfologie van het mondingsgebied met zich medebrengen.



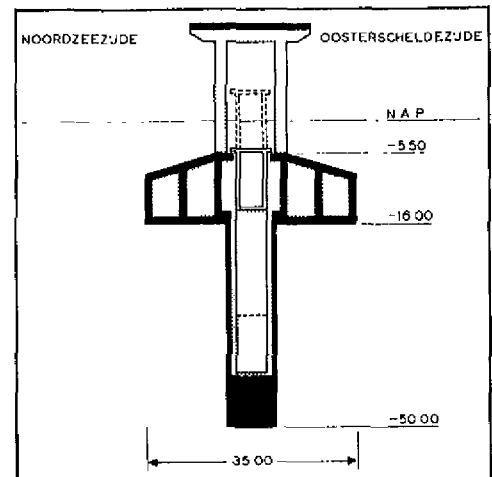
a. HEVEL



b. BETONNEN CILINDER



c. KOKERSCHUIF



d. VINGERDEUR

Fig. 27

Alternatieve ontwerpen voor een stormvloedkering.

## Hoofdstuk 6

### CONSTRUCTIEVE EN UITVOERINGSTECHNISCHE ASPECTEN

#### 6.1. VERDICHTEN VAN DE ONDERGROND

##### 6.1.1. Verdichtingsmethoden

Zoals blijkt uit hoofdstuk 4 moet de ondergrond bij alle oplossingen aan de rand van de bodembescherming verdicht worden om zettingsvloeiingen in het holocene zand te voorkomen. Bij een stormvloedkering bestaande uit caissons op staal moet bovendien over een groot deel van de sluitgaten de grondslag onder de drempel worden verdicht; wellicht is dit ook het geval voor de grond onder een deel van de putten. Daar de draagkracht van de funderingsgrondslag bij al deze oplossingen alleen verzekerd is als hij uit overwegend zandige lagen bestaat, is voornamelijk de verdichtbaarheid van deze grondsoort onderzocht.

In het begin van de studie zijn twee min of meer bekende verdichtingsmethoden beoordeeld, namelijk:

- a. schokgolven opgewekt door een valblok,
- b. dieptrillingen opgewekt door een vibrator.

Bij een eerder uitgevoerde proef op het strand nabij de Sophia-polder (Noord-Beveland) bleek dat verdichten met behulp van explosies geen significante verbetering van het poriëngehalte van de zandlagen oplevert. Het gebruik van explosieven is voorts te ontraden bij verdichtingswerkzaamheden op de taluds van ontgrondingskuilen; explosieverdichting zou wel eens evenwichtsverlies van deze taluds kunnen veroorzaken.

ad. a. Als men met een valblok werkt is het om een goede dieptewerking te verkrijgen en tevens de bovenste lagen van de ondergrond mede te verdichten noodzakelijk vooraf een laag steenachtig materiaal aan te brengen. Hierdoor is controle op de verdichting van de ondergrond achteraf althans door middel van dichtheidsmetingen niet meer mogelijk. Indien deze steenachtige laag tevens deel uitmaakt van de definitieve drempel is het niet denkbeeldig dat de zandafdichtende functie van het onder-



ste deel van de drempel vermindert. Maar of dit zo is, is dan moeilijk vast te stellen. Bij ontgrondingskuilen is de noodzaak niet aanwezig om de bovenste meters te verdichten, zodat de laag steenachtig materiaal achterwege zou kunnen blijven. In hoeverre echter de energie van het valblok in het zeer losse oppervlaktezand verloren gaat is niet bekend. Het valblok dient zodanig gedimensioneerd te zijn dat een stabiele toestand in stromend water verzekerd is. Evenwichtsverlies in het talud van een ontgrondingskuil is bij deze methode ook niet uitgesloten. De verdichtingen met een valblok is vanwege deze bezwaren en onzekerheden niet verder in beschouwing genomen.

ad. b. De tweede vorm van verdichten bestaat uit het in trilling brengen van de ondergrond via:

- De zogenaamde Rüttel-methode, waarbij een aan oplengbuizen gehangen torpedo-achtige vibrator de grond in hoofdzakelijk horizontaal trillende beweging brengt.
- Diepteverdichting, waarbij de grond in verticaal trillende beweging wordt gebracht door een trillichaam - een stalen buis, over de onderste meters voorzien van radiaal gerichte stalen platen - aangedreven door een vibrator die boven de grond blijft.

Voor caissons gefundeerd op staal moet de ondergrond in de as over een groot deel van het sluitgat verdicht worden door de reeds bestaande bodembescherming heen. Dit is bij de tweede methode, die van diepteverdichting, mogelijk. Bij het diepteverdichten is het tevens mogelijk om tijdens de verdichting in de grond goed doorlatend materiaal aan te brengen waardoor het verwekingsproces gunstig wordt beïnvloed. Door de diepteverdichting uit te voeren met een holle stalen buis en een uitstroomopening voor fijn grind onderin kunnen niet met zand vermengde verticale drains in de bodem worden aangebracht.

#### 6.1.2. Proefnemingen

Het onderzoek heeft zich geconcentreerd op de toepasbaarheid van de diepteverdichtingsmethode met een trillichaam en een externe vibrator.

Uit proeven is gebleken dat het mogelijk is:

- matig tot sterk verontreinigd zand ( siltgehalte van 5 - 15 %) te verdichten;
- in zand de gewenste relatieve dichtheid van 0,7 à 0,8 te bereiken;
- de ondergrond zonodig door een bezinking heen te verdichten;
- verticale drains aan te brengen;
- controle uit te voeren met behulp van sonderingen en dichtheidsmetingen op tenminste 20 meter vanuit de werkende trilnaalden.

De grondslag kan ter plaatse van de sluitgaten, op enkele gebieden na, overal met deze methode tot de gewenste verdichting gebracht worden. In het sluitgat Hammen echter komt over de noordelijkste 300 m een spekkoeckstructuur voor die niet verdichtbaar is met deze methode. Daar worden dan ook geen caissons op staal gesitueerd. In het zuidelijkste deel van ditzelfde gat ligt een kleihoudende laag die reikt tot ca. N.A.P. -22 m die, indien niet voldoende verdichtbaar, vervangen kan worden.

In de Roompot bij hm 15,5 bestaat de bovenste 3 m van de bodem (op N.A.P. -30 m) uit slib; voor het aanbrengen van de drempel zal dit slib verwijderd moeten zijn.

#### 6.1.3. Ontwerp verdichtingsvaartuig

Daar er grote hoeveelheden grond te verdichten zijn moet er met verscheidene trillichamen gelijktijdig gewerkt worden, op enige meters afstand van elkaar. Het is nu nog onbekend op welke wijze het verdichtingsresultaat hierdoor beïnvloed kan worden. Daarom is bij de oplossing waarbij in de as moet worden verdicht aan het ontwerp van een verdichtingseenheid de eis gesteld, dat de onderlinge afstanden van de trillichamen binnen zekere grenzen variabel moeten zijn. Rekening houdend met onder meer deze eis is er een voorontwerp van een verdichtingsvaartuig gemaakt. Het verdichtingsvaartuig is opgebouwd uit een tweetal pontons verbonden door zware krammen en wel zo dat tussen beide pontons een tussenruimte (beun) ontstaat

waarbinnen verdichtingsapparatuur zich in verticale en horizontale zin kan bewegen. Hiervoor is boven de beun een grote hoofdbok geplaatst. De verdichtingsapparatuur bestaat uit tien in één rij opgestelde trilnaalden, met onderlinge afstanden die verstelbaar zijn tussen 3,5 en 5,0 m. De trilnaalden kunnen tot een maximale diepte van 20 m in de grond reiken; echter niet dieper dan N.A.P. -35 à 40 m, terwijl de minimale bodemdiepte waarbij gewerkt kan worden ca. N.A.P. -10 m is. Gedurende gemiddeld 15 à 20 % van de tijd zal als gevolg van stroom, golven en wind niet met het verdichtingsvaartuig gewerkt kunnen worden.

In funderingsputten kan de diepteverdichtingsmethode gebruikt worden om de grond tot bijvoorbeeld 10 m onder het fundatieniveau te verdichten. De verdichting langs de randen van de bodembescherming en oevers kan ook met de Rüttel-methode worden uitgevoerd, als dat om bepaalde redenen de voorkeur zou verdienen. Hier hoeft men niet meer onder een reeds aangelegde bodembescherming te verdichten en kunnen grindpalen als extra drainage achterwege blijven, ongeacht de verdichtingsmethode die men gebruikt. Wel zou men door tijdens het verdichten een hoeveelheid grind aan te brengen een gunstige invloed kunnen uitoefenen op het ontgrondingsproces.

## 6.2. DREMPELCONSTRUCTIES

### 6.2.1. Constructieve en uitvoeringstechnische aspecten

Er is een duidelijk functioneel onderscheid tussen de drempel van een stormvloedkering die bestaat uit caissons gefundeerd op staal en de drempel van een kering van caissons of pijlers gefundeerd op putten.

In de laatstgenoemde twee gevallen vormt de drempel in beginsel slechts een afdichtend element, maar bij een fundering op staal vormt zij tevens een dragend element in het systeem. Uit dit functionele verschil volgt ook een verschil in eisen. Aan een drempel die caissons moet dragen worden zwaardere eisen gesteld dan aan een drempel in de beide andere oplossingen. Zoals uit het vervolg van dit hoofdstuk zal blijken, speelt het effect van aanzanding op de mechanische eigenschappen van de

drempel bij de constructie een overheersende rol.

De specifieke problemen die zich kunnen voordoen bij de opbouw van de drempel laten zich het eenvoudigst beschrijven aan de hand van de volgorde waarin de opbouw plaatsvindt en van de handelingen die daarbij moeten worden verricht.

#### Caissons op staal

a. De drempelopbouw ter plaatse van de inbaggeringen.

De meest complexe situatie ontstaat op die plaatsen waar het profiel door inbaggering moet worden vergroot.

Alvorens de eigenlijke drempelopbouw aanvangt worden de volgende voorbereidende werkzaamheden uitgevoerd:

- Opruimen van de bestaande bodembescherming
- Uitvoeren van inbaggeringen
- Verdichten van de ondergrond
- Controle op de mate van verdichting
- Opschonen van inbaggeringen

Na deze voorbereidende werkzaamheden die plaatselijk ongeveer een jaar in beslag nemen, volgt in fasen de eigenlijke drempelopbouw. In elke fase wordt gebruik gemaakt van gespecialiseerd materieel. Om het aantal fasen te beperken, worden zoveel mogelijk handelingen gecombineerd. Tussen elke fase in de opbouw ligt een tijdsruimte van 2 à 4 maanden.

Achtereenvolgens zijn te onderscheiden:

Fase 1: Aanbrengen van een zogenaamde "sandwich" als filterconstructie, bestaande uit: een blokkenmat, een laag grind en een tweede blokkenmat. Op deze "sandwich" wordt een laag fosforslakken aangebracht.

Deze vier handelingen vinden plaats met gebruikmaking van één grote centrale ponton, waaraan achtereenvolgens de blokkenmatrollen worden gekoppeld en splijtbakken worden afgemeerd.

Plaatselijk gezien worden handelingen op een afstand van 8 tot 15 m van elkaar uitgevoerd, zodat het werkterrein een afstand van 20 tot 45 m bestrijkt.

In de tijd gezien betekent dit, dat men in 1 à 3 weken de handelingen plaatselijk heeft voltooid. Tevens houdt dit in dat de opbouw van de sandwichconstructie doorspekt zal zijn met

plaatselijke afzettingen van zand met een dikte tot enige dm's.

Voordat fase 2 begint zal een afzetting van zand plaatsvinden, welke in dikte varieert van 0 tot ca. 2 m, afhankelijk van de intensiteit van aanzanding en de tijd die verloopt tussen fase 1 en 2.

Fase 2: Afvlakken van de fosforslakken.

Tijdens het afvlakken van de fosforslakken wordt mede de op dat moment aanwezige opgezande laag verwijderd.

Fase 3: Verdichten van sandwich en fosforslakken en storten van steen 10/60 kg.

Het verdichten vindt plaats met behulp van trilplaten bevestigd aan een ponton. Deze ponton dient tevens als afvierponton voor de te storten laag steen 10/60 kg.

Op het moment dat het verdichten begint heeft men te maken met een sandwichconstructie en lagen van fosforslakken, doorspekt met zandlamellen. Tevens moet men rekenen op een opzanding van ca. 1 m. Door de extra dikte en de dempende werking van de opzanding rijst enige twijfel omtrent het verdichtingsresultaat van de bovenlaag der ondergrond.

Fase 4: Afvlakken van steen 10/60 kg.

De laag stortsteen 10/60 kg van ca. 1 m dikte wordt afgevlakt, waarbij tevens de eventuele opzanding, die tussen fase 3 en 4 is opgetreden, wordt verwijderd.

Fase 5: Verdichten van de steen 10/60 kg, aanbrengen van steen 60/300 kg.

Bij het verdichten van de steen 10/60 kg zal rekening moeten worden gehouden met een eventueel volledig ingezande laag stortsteen en met een zekere opzanding, waardoor het verdichten wordt bemoeilijkt. Bovendien blijft een laag zand ingesloten tussen de steen 10/60 kg en de enige weken later gestorte steen 60/300 kg.

Fase 6: Afvlakken van de laag stortsteen 60/300 kg.

Fase 7: Verdichten van de laag stortsteen 60/300 kg van ca. 1,5 m dikte.

Ook bij deze laag zal rekening gehouden moeten worden met een eventueel volledige inzanding en een zekere mate van opzanding, waardoor het verdichten wordt bemoeilijkt.

Fase 8: Verwijdering van de opzanding op de drempel. Zo kort mogelijk voordat de caissons worden geplaatst moet de eventueel opgetreden aanzanding zo goed mogelijk worden verwijderd. Dit kan het beste gedaan worden met voor dit doel aangepast baggermaterieel, bijvoorbeeld een "dust-pan" zuiger. In figuur 28 is schematisch de volgorde van voorgaande werkzaamheden weergegeven.

b. De drempelopbouw op plaatsen zonder inbaggeringen. Alle handelingen, behalve het inbaggeren, verlopen op dezelfde wijze als in het voorgaande werd beschreven, met dien verstande dat in fase 1 de fosforslakken in meerdere lagen worden aangebracht. De op- en inzanding is hier echter geringer, of geheel afwezig.

#### Pijlers op putten

Ook hier is weer een duidelijk onderscheid te maken tussen dat deel van de drempel waar inbaggeringen moeten plaatsvinden en daar waar dit niet het geval is.

Een belangrijk verschil met de fundering op staal vormt het feit dat het drempelmateriaal niet verdicht behoeft te worden, evenmin de ondergrond.

a. Drempelopbouw ter plaatse van inbaggeringen.

De drempelopbouw kan in de volgende fasen worden ingedeeld:

Fase 1: Verwijderen van de bestaande bodembescherming.

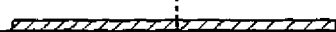
Fase 2: Maken van inbaggeringen.

Fase 3: Afwisselend aanbrengen van een steenasfaltmat tussen de putten en een laag asfaltmastiek ter plaatse van de putten. De asfaltmastiek wordt aangebracht in drie opeenvolgende lagen van 8 cm dikte. Zandinsluiting tussen de asfaltmastieklagen zal niet te vermijden zijn, maar aangezien de bodembescherming hier slechts een tijdelijke functie vervult, heeft dat geen consequenties voor de eindfase.

Fase 4: Opschonen van de inbaggeringen, kort voordat de put wordt geplaatst, tot op ca. 1 m boven de steenasfaltmatten en de asfaltmastiek. De asfaltmastiek ter plaatse van de put wordt verwijderd.

Fase 5: Aanbrengen van een steenbestorting aan de voor- en achterzijde, in de beginfase van het afzinken van de put. Dit om

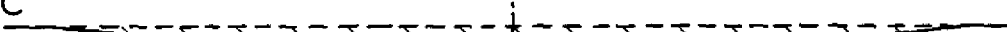
A  
OPRUIMEN STEENASFALTMATTEN



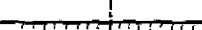
B  
OPRUIMEN ZOOLSTUKKEN EN BLOKKENMATTEN



C  
BAGGEREN



D  
VERDICHTEN AS



E  
CONTROLE OP VERDICHTEN



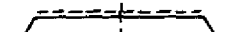
F  
OPSCHONEN INBAGGERING



G  
AANBRENGEN SANDWICH-CONSTRUCTIE EN FOSFORSLAKKEN



H  
AFVLAKKEN FOSFORSLAKKEN



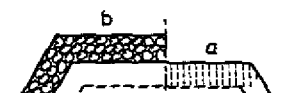
J  
a VERDICHTEN FOSFORSLAKKEN  
b AANBRENGEN STORTSTEEN 10/60



K  
AFVLAKKEN STORTST. 10/60



L  
a VERDICHTEN STORTST. 10/60  
b AANBRENGEN STORTST. 60/300



M  
AFVLAKKEN STORTST. 60/300



N  
VERDICHTEN STORTST. 60/300



O  
VERWIJDEREN OPZANDING DREMPEL

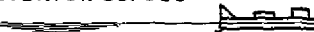


Fig. 28

Werkwijze opbouw drempel - caissons op staal -

ontgrondingen rond de put tijdens het op diepte brengen te beperken.

Fase 6: Na het op diepte brengen van de put opvullen van de ontstane ontgrondingskuilen met asfaltmastiek. Er moet zorg voor worden gedragen dat er voldoende overlap met de in fase 3 reeds aangebrachte asfaltmastieklaag ontstaat. Insluiting van zand is niet waarschijnlijk te achten. In dit stadium is reeds een belangrijke mate van profielvernaauwing bereikt, waarmee veelal ook het aanzandingsverschijnsel zal zijn onderdrukt.

Mocht zich plaatselijk in deze fase toch nog aanzanding manifesteren, dan kan de verdere drempelopbouw voorlopig worden uitgesteld en pas vervolgd worden nadat meerdere putten en pijlers zijn geplaatst en nadat de drempelopbouw is voltooid op die plaatsen waar geen inbaggeringen plaatsvinden. De vernaauwing kan dan nog worden versterkt door tijdelijk afsluitmiddelen neer te laten, of door schotbalken aan te brengen.

Fase 7: Aanbrengen van de drempel.

b. Drempelopbouw in gedeelten zonder inbaggeringen.

De uitvoering is gelijk aan die in gedeelten met inbaggeringen; de fasen 2 en 4 vervallen echter.

Toegevoegd wordt een fase waarin tot op ca. 3 m onder de toekomstige kruin van de drempel een kern van fosforslakken wordt aangebracht. De aanzanding levert hier wat minder problemen op. Plaatselijk echter is enige aanzanding, voorafgaand aan fase 7, niet te vermijden, maar de consequenties zijn verwaarloosbaar.

#### 6.2.2. Verdichten van drempelmaterialen

##### Fosforslakken

De voor de kern van de drempel te gebruiken fosforslakken hebben afmetingen tussen 0 - 400 mm; de  $D_{50}$  - dat is de op basis van gewichtshoeveelheden gemiddelde diameter van het materiaal - ligt tussen 28 en 43 mm.

Onverdichte slakken bezitten onder water vrijwel geen draagvermogen. Bij caissons gefundeerd op staal is het dan ook noodzakelijk dit materiaal te verdichten. Verschillende methoden van



verdichten zijn beproefd. Het verdichtingseffect werd beoordeeld aan de hand van een dynamisch bepaalde stijfheid van het materiaal. Behalve op hun verdichtingseffect werden deze methoden mede getoetst op een aantal andere criteria, zoals capaciteit, kosten, betrouwbaarheid, eventuele beschadiging van bodembescherming, op de vraag of ze de ondergrond meeverdichten en of ze de vlakheid beïnvloeden.

Verdichting door middel van trillen blijkt de meest bruikbare methode te zijn. Voor werkzaamheden onder water verdient het gebruik van een trilplaat de voorkeur.

Onder meer uit laboratorium-onderzoek blijkt dat de maximale dikte van de te verdichten laag afhankelijk is van de optredende versnelling van de korrels en de gronddruk aan de onderzijde van de laag.

In praktijk zal een laag van 2 à 2,5 m fosforslakken met de voorgestelde verdichtingsplaat in één fase kunnen worden verdicht.

Het verdichtingseffect kan in de praktijk worden gecontroleerd door het bepalen van een dynamische stijfheid. Door triaxiaal-proeven is de hoek van inwendige wrijving bepaald onder variatie van de pakkingsdichtheid en de isotrope spanning.

Op grond daarvan wordt voor de berekeningen gehanteerd  $\varphi = 40^\circ$  na plaatsing en  $\varphi = 45^\circ$  na cyclische belasting. Uit proeven bleek de spreiding in eigenschappen na verdichting betrekkelijk gering te zijn en als normaal verdeeld te mogen worden beschouwd. De oppervlakken waarbinnen inhomogeniteit optreedt zijn klein ten opzichte van de draagvlakken van een caisson. Nader onderzoek ten aanzien van de duurzaamheid van fosforslakken is geboden. Met name de oplosbaarheid in zout water en de slijtage onder invloed van schuifspanningen dient te worden onderzocht.

#### Stortsteen

Ook de stortsteen in de drempel zal bij caissons gefundeerd op staal worden verdicht; de redenen daartoe zijn dezelfde als bij de fosforslakken: de zettingen dienen te worden beperkt en de mechanische eigenschappen verbeterd. Uit proefnemingen is ge-

bleken dat stortsteen door middel van een trilplaat goed te verdichten is. Wel moet men rekenen op enige verbrijzeling van de stortsteen, met als gevolg een geringe vermindering van de stroombestendigheid. Anderzijds bevordert het verdichten de stabiliteit tegen stroomaanval. Het resultaat van beide effecten tezamen is nog niet onderzocht. Overigens moet worden opgemerkt dat de proefnemingen met name gericht zijn geweest op de verdichting van lichte stortsteen 10/60 kg en dat derhalve ten aanzien van het verdichten van de zwaardere stortsteen 60/300 kg nog aanvullende proeven zouden moeten worden uitgevoerd.

Bij caissons en pijlers gefundeerd op putten is het ook bij stortsteen niet noodzakelijk het materiaal te verdichten, aangezien het dan bij de overdracht van krachten geen essentiële functie vervult.

#### 6.2.3. Vlakheid drempel

##### Caissons gefundeerd op staal

In verband met de gekozen driepuntsoplegging van de caissons gefundeerd op staal worden minder stringente eisen aan de vlakheid van de drempel gesteld dan bijvoorbeeld bij volledige oplegging het geval zou zijn. Niettemin wordt een zo groot mogelijke vlakheid nagestreefd in verband met de volgende ontwerp-aspecten:

- beperking van de hoogte van de steunvlakken onder de caissons,
- beperking van de benodigde aanpassingswerkzaamheden aan de wegconstructie,
- het "zicht" op de caissondam,
- zekerheid ten aanzien van het te bereiken doorstroomprofiel.

Uit praktijkgegevens en theoretische beschouwingen lijken de volgende vlakheden onder Oosterscheldeomstandigheden met behulp van een emmerbaggermolen haalbaar:

- fosforslakken  $\pm 0,3$  m,
- stortsteen 10/60 kg  $\pm 0,4$  m,
- stortsteen 60/300 kg  $\pm 0,5$  m.

Over oppervlakken gelijk aan die van de caissonopleggingen lijkt met behulp van geavanceerde technische hulpmiddelen een 0,1 m nauwkeuriger vlakheid realiseerbaar. Opgemerkt moet worden dat op elk scheidingsvlak tussen twee verschillende materialen van de drempel afvlakken nodig is om een zekere garantie te verkrijgen ten aanzien van de dikte van de samenstellende lagen en om het verdichten te vergemakkelijken.

#### Pijlers gefundeerd op putten

Afgezien van een zone in de nabijheid van de dorpelbalken behoeven er aan de maatvastheid van het drempelniveau bij deze constructie geen strenge eisen te worden gesteld. Essentiëel is uitsluitend dat de dikte van de lagen voldoet aan een bepaalde minimum eis.

Ter plaatse van de dorpelbalken zal de drempel echter binnen nauwe toleranties moeten worden afgewerkt; daartoe zullen speciale middelen moeten worden ontwikkeld.

#### Caissons gefundeerd op putten

Om te voorkomen dat het caisson plaatselijk op het drempelmateriaal komt te rusten voorziet het ontwerp in een spleet van 0,5 m tussen caissonbodem en drempeltop.

Aangenomen wordt dat de afwijkingen bij het aanbrengen van het steenasfalt steeds binnen de gestelde tolerantie van 0,5 m zullen blijven.

In verband met de vereiste dikte van het steenasfalt zal ook de maatvastheid van de laag er onder aan deze tolerantie eisen moeten voldoen.

### 6.2.4. Aanzanding van de drempel

#### Probleemstelling

Het zandtransport in de Oosterschelde vormt een ernstige hinder bij de aanleg van een drempel waarbij hoge eisen aan de stabiliteit worden gesteld.

Het zandtransport kan worden onderscheiden in bodemtransport en suspensietransport. Het bodemtransport wordt o.a. gekenmerkt

door rollende bewegingen van zanddeeltjes; op de bodem vormen zich daarbij ribbels van grotere of kleinere omvang. Als gevolg van de resulterende verplaatsing van deze ribbels onder invloed van het getij kan tijdens de aanleg van de drempel aanzanding ontstaan. Aanzanding kan echter ook ontstaan doordat zwevend getransporteerde zanddeeltjes naar beneden zakken. Dit gebeurt met name daar waar drempels in inbaggeringen worden aangelegd.

Men spreekt van inzanding wanneer zand in een laag steenachtig materiaal dringt en van opzanding wanneer zand zich op een laag steenachtig materiaal afzet. De verdichting van het drempelmateriaal, die bij caissons gefundeerd op staal noodzakelijk is, kan door inzanding zodanig worden beïnvloed, dat de mechanische eigenschappen naderhand onvoldoende worden, wanneer het binnengedrongen zand weer uitspoelt. Opzanding kan lensvorming in de drempel veroorzaken. Als gevolg van de hierdoor ontstane discontinue laagopbouw of door uitspoeling van zand kan de stabiliteit nadelig worden beïnvloed.

Aanzanding veroorzaakt ook vele problemen voor de uitvoering.

#### Analyse van onderzoekresultaten

Verschillende onderzoekingen zijn uitgevoerd om de aanzanding te kwantificeren, om vast te stellen in welke mate de eigenschappen van de drempel door aanzanding worden beïnvloed en om technieken te vinden waarmee aanzanding kan worden voorkomen, verminderd of verwijderd.

#### Zandtransport

Op grond van peilingen en duikeronderzoek kan worden gesteld dat voornamelijk aan de noordzijde van de Hammen en van de Schaar op de reeds aanwezige bodembescherming in de sluitgaten zand wordt afgezet. De dikte van de afzettingen kan oplopen tot maximaal 1 m. In de Roompot is geen specifiek aanzandingsgebied waargenomen.

Er is ook onderzoek verricht naar de verplaatsing van grotere en kleinere zandribbels. De resulterende verplaatsingen, beschouwd over een waarnemingsperiode van ca. 6 weken, zijn relatief gering. Gedurende een eb- of vloedperiode kunnen ver-

plaatsingen voorkomen tussen 0 en 10 m.

Uit het modelonderzoek en uit berekeningen bleek dat de bodembescherming gelijkmatig over de volle lengte aanzandt en dat daarna ribbels ontstaan. Bij een waterloop die in de stroomrichting niet van profiel verandert, is de aanzanding als gevolg van de getijwerking verwaarloosbaar klein. Als men gaat inbaggeren moet echter rekening worden gehouden met een aanzienlijke aanzanding in betrekkelijk korte tijd, zo'n 0,5 à 1 m in de eerste maand. Een drempel met de kruin beneden het oorspronkelijk bodemprofiel kan enige dm's per maand aanzanden.

#### Inzanding

Met behulp van in de bodem ingegraven monsterkisten en van monsters die ontleend waren aan perskaden werd bestudeerd hoe het inzandingsproces verloopt in een laag fosforslakken. Er werd volledige inzanding geconstateerd tot op de bodem van de monsterkisten, die 60 cm diep waren.

Uit ervaring weet men dat ook stortsteen volledig zal inzanden.

#### Effect van zand in de drempel op de filterwerking

Uit proefnemingen te Lith bleek dat een zandlens tussen verdichte slakken, samenstelling "tout venant", bij een maximaal haalbaar verhang van 30 % en onder dynamische belasting niet werd uitgespoeld. Eenzelfde resultaat werd verkregen bij fosforslakken waar delen kleiner dan 5 mm vooraf uit werden gezeefd. Bij laboratoriumproeven bleek het mengsel "tout venant" in verdichte toestand zelfs bij 100 % verhang, zonder dynamische belasting, geen zanddelen door te laten; voor een mengsel waar delen kleiner dan 5 mm waren uitgezeefd, bleek een verhang van 33 % kritisch te zijn.

Aangenomen mag worden dat zand in de holle ruimte van stortsteen bij een betrekkelijk klein verhang vrijwel onmiddellijk zal uitspoelen.

#### Maatregelen ter voorkoming of vertraging van het in- en opzanden

Uit modelonderzoek is gebleken dat een bodembescherming slechts

een geringe remmende werking heeft op het aanzandingsproces, mede als gevolg van het feit dat de aanzanding gelijkmatig over de volle lengte plaatsvindt. In de Oosterschelde is geen significant verschil in voortplantingssnelheid van ribbels waargenomen boven en buiten de bodembescherming.

Uit hetzelfde modelonderzoek en uit berekeningen is gebleken dat een gebaggerde zandvang een aanzienlijk deel van het overtrekkende transport kan vangen en daarmee een duidelijk remmende werking op het suspensietransport kan uitoefenen.

Invloed van zand op de mechanische eigenschappen en de verdichtbaarheid van het drempelmateriaal en de filteropbouw

Uit triaxiaalproeven en foto-elastisch onderzoek blijkt dat zand dat zich in de poriën van een fosforslakkenmengsel bevindt, tot aan een vullingsgraad van 75 % niet mee doet aan krachtsoverdracht. Bij een vullingsgraad van ca. 100 % - dat wil zeggen dat het poriënvolume van de fosforslakken na verdichting volledig is gevuld - blijkt het zand wél een duidelijk aandeel te hebben in het krachten spel; de hoek van de inwendige wrijving is ca.  $5^{\circ}$  à  $6^{\circ}$  groter dan in verdichte slakken zonder zand. Bij overvulling neemt de hoek van inwendige wrijving geleidelijk af tot de waarde die hoort bij verdicht zand. Uit glijvlak- en glijlijnenberekeningen volgt dat een betrekkelijk dunne zandlaag in de vorm van een lens tussen twee stortsteenlagen de stabiliteit van de drempel niet beïnvloedt. Met betrekking tot de verdichtbaarheid volgt uit proefnemingen dat volledig ingezande fosforslakken bij verdichting, tot ca. 4 % minder zetting komen dan niet ingezande slakken. Bij stortsteen blijkt het verschil ca. 6 % te bedragen.

Tijdens het verdichten dringt betrekkelijk weinig materiaal vanuit de zandlenzen door in de slakken of de stortsteen. Bij het verdichten moet rekening worden gehouden met zandlenzen en een minder goede bovenlaag van de vorige laag (klankbodem), die mee moet worden verdicht.

Als men om die reden de verdichtingsenergie opvoert, zal dat leiden tot een versterkte mate van verbrijzeling van het drempelmateriaal.

Uitvoeringsmogelijkheden en technieken ter beperking van zandafzetting in de drempel en/of verwijdering van reeds afgezet zand

De afzetting van zand in de drempel kan worden beperkt door de opeenvolgende handelingen, sneller en in een aangepaste volgorde af te werken en tevens door zandvangen aan te brengen. Kwalitatief is moeilijk te bepalen wat het effect van deze maatregelen zal zijn. Aanzanding helemaal voorkomen lijkt niet haalbaar. Zand dat zich in de poriën van het drempelmateriaal heeft afgezet blijkt vrijwel niet te kunnen worden verwijderd. Voor het verwijderen van zand dat als een laag op het drempelmateriaal ligt, lijkt de "dust-pan"-zuiger het aangewezen werktuig. Voor geringe en lokale afzettingen kan mogelijk gebruik worden gemaakt van airlift-systemen. Zandafzettingen op nog niet geprofileerde drempelmaterialen kan worden verwijderd tijdens het vlakbaggeren.

Controlemogelijkheden

Er zijn momenteel geen meetsystemen bekend waarmee de mate van inzandingen voldoende betrouwbaar kan worden gemeten. Ook is het niet goed mogelijk expliciet weer te geven welke invloed zand dat zich tussen het drempelmateriaal heeft afgezet, uitoefent op de mechanische eigenschappen van het betreffende materiaal.

De mate van opzanding kan door profielmetingen met behulp van echoloden en duikerwaarnemingen voldoende nauwkeurig worden bepaald.

Uitvoeringstechnische maatregelen

Aanzandingen doen zich met name voor op die plaatsen waar inbaggeringen nodig zijn, hetgeen in een groot deel van het tracé het geval zal zijn. De aanzanding zal in deze gebieden vrij sterk zijn en binnen relatief korte tijd plaatsvinden.

Een ingebaggerde zandvang kan de mate van aanzanding sterk reduceren. De diepte en de breedte van de zandvang zijn afhankelijk van de waterdiepte. De optimale vorm en afwerking van zo'n zandvang dient nog nader te worden vastgesteld.

Zand dat is ingesloten in de poriën van drempelmateriaal heeft

tot bij een vullingsgraad die in de praktijk kan voorkomen - volledige inzanding voorafgaand aan de verdichting - geen nadelige invloed op de mechanische eigenschappen. Voorkomen moet worden dat de bereikte eigenschappen zullen verminderen doordat ingesloten zand naderhand uitspoelt. Met name zand dat is ingesloten in stortsteenlagen laat zich bij een gering verhang gemakkelijk uitspoelen. Een mogelijke oplossing vormt de toepassing van een zanddichte afdek-constructie over de drempel. Een andere mogelijkheid is wijziging in de opeenvolging van handelingen bij de opbouw van de drempel, met name bij het aanbrengen en verdichten van de materialen. Uit het voorgaande moge blijken dat door een aantal additionele maatregelen het bezwaar van aanzanding kan worden beperkt. Het effect van deze maatregelen is thans echter niet met voldoende zekerheid te bepalen.

#### 6.2.5. Afdichting en onderloopsheid

##### Caissons op staal

Doordat de caissons worden afgezonken op drie oplegvlakken blijft er een ca. 1 m hoge spleet bestaan tussen de drempel en de caisson.

De gevolgen van de onderloopsheid die hierdoor ontstaat, worden bestreden door een 4 m hoge aanstorting aan weerszijden van de bodembak. In principe verdeelt het totale verval zich in gelijke mate over deze twee aanstortingen; maar onvermijdelijke verschillen in de zwaarte van de aanstortingen zullen leiden tot ongelijke verdeling van het verval. De stabiliteit van de aanstortingen moet dan ook nog als kritisch onderdeel worden gezien.

Bij de stabiliteitsberekening van de caissons dient met deze scheve verdeling rekening te worden gehouden; ze heeft namelijk gevolgen voor de druk onder de caissons. De geconcentreerde vervallen ter plaatse van de aanstortingen werken ook in de diepere drempellagen door, waardoor op de verschillende grenslagen aanzienlijk grotere verhangen optreden dan bij een vlakke caissonbodem het geval zou zijn.



Met name aan de uitvoering van de zogenaamde sandwichconstructie zullen dan hoge eisen gesteld moeten worden.

In het geval dat er een schuif weigert blijkt de geometrie van de constructie in sterke mate het stroombeeld en daarmee de stabiliteit van het drempelmateriaal te bepalen.

Doordat de kruin van de doorstroomopening bij het brievenbusprofiel hoog ligt, kan de situatie van volkomen overlaat ontstaan, zodat de straal duikt en de bodem lokaal sterk aangevallen wordt.

In verband met de invloed van de kruinligging en de bodemligging is het ook van belang waar in het tracé de schuif weigert. In het geval dat er een schuif weigert ligt de situatie bij caissons op staal iets gunstiger dan bij pijlers op putten. De schuifbreedte is kleiner, waardoor de totale aanval minder is, en bovendien vormt de bodembak een eerste bescherming tegen het overstortende water. De drempeltaluds behoeven dan ook niet in steenasfalt uitgevoerd te worden, maar men kan volstaan met zeer zware steen. De aanstortingen tegen de bodembak worden van twee kanten aangevallen: van boven door stroom en golven, en van onderen door de druk van het verval, waardoor het effectief gewicht vermindert. Op grond van modelonderzoek wordt verwacht dat blokken van 7,5 ton stabiel zullen zijn. De aanstortingen vervullen echter ook een functie met betrekking tot de weerstand van de caissons tegen verschuiven; aan de stabiliteit ervan zal dus de uiterste zorg besteed moeten worden. Gedetailleerder onderzoek op dit punt is dan ook noodzakelijk. Wanneer de kering gedurende een storm gesloten is kan het zand dat tijdens de bouw in de drempel is doorgedrongen weer gaan uitspoelen, met nadelige gevolgen voor de stabiliteit van de drempel. (zie 6.2.4.)

Om dit te voorkomen zouden de taluds van de drempel eventueel toch afgedekt moeten worden met steenasfalt, waarbij op aanzienlijke overdrukken gerekend zal moeten worden, die het effectief gewicht van de afdekking in sterke mate verminderen. Interne zandverplaatsing in de drempel blijft ook dan mogelijk.

#### Pijlers op putten

Bij het eerste pijlerontwerp werd de onderloopsheid bestreden

door een damwandconstructie onder de schotbalken, waardoor het verval verticaal gespreid werd.

In verband met onzekerheden ten aanzien van de uitvoering van een dergelijke constructie en de krachten die via de schotbalken op de damwand overgebracht worden, werd dit denkbeeld uiteindelijk verlaten.

Omdat de putten en de drempel zich bij een storm niet in gelijke mate zullen verplaatsen, is een spleet tussen schotbalken en drempel noodzakelijk. De gevolgen van de onderloopsheid die daardoor ontstaat worden bestreden met aanstortingen van betonblokken aan weerszijden van de dorpelbalk.

Weigert een schuif van een stormvloedkering die bestaat uit pijlers op putten, dan wordt de drempel direct aangevallen door het overstortende water. De situatie is dan ongunstiger dan bij caissons op staal. De toplaag en de taluds van de drempel worden daarom geheel in steenasfalt uitgevoerd.

Om de dikte van de steenasfaltlaag te beperken vanwege optredende overdrukken wordt de drempel onder de aanstortingen met betonblokken open uitgevoerd. Hierdoor kunnen echter de sterk geconcentreerde verhangen doordringen tot op de grenslaag tussen drempel en ondergrond, die bovendien verstoord wordt door de putten. Daarom is een steenasfaltlaag in de drempel opgenomen, die de zandbodem beschermt tegen te grote verhangen. Grote drukverschillen onder en boven deze steenasfaltlaag moeten echter worden vermeden; daarom wordt deze laag geheel in de laag fosforslakken opgenomen. Door de relatief grote doorlatendheid van fosforslakken ten opzichte van zand blijven de drukverschillen dan beperkt. Verwacht wordt dat op deze manier een zanddichte constructie wordt verkregen.

Mocht dit ontwerp definitief worden dan zal dit constructie-onderdeel door analyse van de zwakke punten en daaraan gekoppelde voortgezette proeven op grote schaal getoetst moeten worden.

#### Caissons op putten

De spleet tussen caisson en drempel is bij deze constructie van dezelfde orde van grootte als bij de caissons op staal.

De gevolgen van de ontstane onderloopsheid worden ook hier bestreden met aanstortingen tegen de bodembak.

De geconcentreerde verhangen ter plaatse van de aanstortingen zouden ook hier bij een open drempelconstructie in de diepere drempellagen kunnen doordringen. Door de verstoringen die de putten op de grensvlakken veroorzaken ligt de situatie hier duidelijk ongunstiger dan bij caissons op staal. Daarom wordt de toplaag van de drempel uitgevoerd als een dichte steenasfaltlaag van ca. 80 m lang, die ervoor zorgt dat de verhangen op de grensvlakken laag blijven.

In verband met de eventuele weigering van een schuif is de dimensionering verder gelijk aan die van de caissons op staal.

### 6.3. BODEMBESCHERMING

#### 6.3.1. Zwaarte van de stortebedden

Het is moeilijk een duidelijke grens aan te geven tussen drempel en stortebedden. In hoofdstuk 6.2.5. is aangegeven welke problemen er bij de storm optreden wanneer er een schuif blijft openstaan. Als algemene regel geldt hoe verder van de kering verwijderd, hoe minder zwaar de aanval en hoe lichter de bestorting uitgevoerd kan worden.

Bij het uitgevoerde oriënterende modelonderzoek is als criterium aangehouden dat bij een open schuif, 7 m verval en golfbeweging, geringe schade aan de stortebedden toelaatbaar is. Indien uit de berekeningen een te grote schade blijkt kan worden overgegaan op een steen-asfaltconstructie, hetgeen ook gebeurt op plaatsen waar dat goedkoper is dan een zware bestorting.

Bij de gepresenteerde ontwerpen is ervan uitgegaan dat de zwaarste aanval plaatsvindt binnen een gebied dat ca. 7 maal zo lang is als de hoogte van de onderaanslag van de doorstroombopening. Voor een voorontwerp lijkt dit een redelijke veronderstelling.

De grootte van de stroomaanval wordt sterk beïnvloed door de geometrie van de constructie. Bij een definitief ontwerp zal nader modelonderzoek nodig zijn voor alle in de sluitgaten voorkomende situaties.

### 6.3.2. Stabiliteit van de rand van de bodembescherming

In hoofdstuk 4.2.8. is reeds aangegeven wat de problemen zijn met betrekking tot de stabiliteit van de rand van de bodembescherming.

Bij de vroegere afsluitingen van het Deltaplan werd de bodembescherming zo lang gemaakt dat een zettingsvloeiing de drempel van de afsluitconstructie nog net niet in gevaar zou brengen. Hiertoe werd aan de hand van een analyse van alle tot dusver geregistreeerde oevervallen het zogenaamde 1 : 15 criterium gehanteerd.

Men gaat er daarbij vanuit dat elke vloeiing een eindhelling van 1 : 15 zal bereiken. Uitgaande van de berekende ontgrondingsdiepte tijdens de bouwphase kon de lengte van de bodembescherming dan worden vastgesteld.

Bij een volledige afsluiting duurt het risico maar kort, en gedurende die periode is men extra waakzaam en heeft men bovendien materieel en materiaal vlak bij de hand.

Calamiteiten als gevolg van terugschrijdende erosie na het optreden van een zettingsvloeiing kunnen onder die omstandigheden altijd worden voorkomen.

Aangezien de stormvloedkering permanent dienst zal moeten doen, is een soortgelijke situatie hier onaanvaardbaar.

In 4.2.8. werd al gesteld dat het uitgangspunt bij het ontwerp is dat het optreden van zettingsvloeiingen voorkomen moet worden, en dat de ontgrondingskuilen niet dieper mogen worden dan 25 m.

### 6.3.3. Lengte bodembescherming

Hoe langer de bodembescherming is, hoe kleiner de ontgrondingen zijn; en hoe kleiner de ontgrondingskuil is, hoe geringer het gevaar van afschuiving en zettingsvloeiing. Een mogelijke oplossing van het probleem is dus een zo lange bescherming, dat de ontgrondingen beperkt blijven tot bijvoorbeeld 5 à 10 m. Hiermee zou bij het "brievenbus"-profiel een bodembescherming van een tot enkele km's gemoeid zijn; hetgeen een zeer dure oplossing is.

Het andere uiterste zou zijn de voor de afsluiting reeds aange-

brachte bodembescherming van 200 à 250 m ter weerszijden van de kering niet uit te breiden. Daarbij zijn ontgrondingen van meer dan 50 m diepte te verwachten. Bovendien zal dan bij een eventuele zettingsvloeiing, door de korte lengte van de verdediging, de stabiliteit van de kering zeker in gevaar komen. Voorlopig is daarom gekozen voor een maximum te verwachten kuildiepte van 25 m en voor aanvullende maatregelen aan de rand van de bodembescherming ter voorkoming van stabiliteitsverlies.

In hoofdstuk 4.1. is er al op gewezen dat het onderzoek ter bepaling van de lengte van de bodembescherming noodzakelijk beperkt moest blijven. De bepaling van de lengte van de bodembescherming is gebaseerd op onvolledig onderzoek ten behoeve van de constructie met caissons op staal. Als uitgangspunt is toen een maximaal toelaatbare ontgrondingskuil van 25 m aangenomen, 10 jaar na het gereedkomen van de kering.

Daarna zullen de ontgrondingen niet of nauwelijks meer toenemen. Het feit dat slechts voor één hoofdvariant onderzoek naar de ontgrondingen werd gedaan, is voor de eindontgroning niet zozeer van belang, want de vorm van het doorstroomprofiel is voor alle ontwerpen vrijwel dezelfde. De verschillen in sluitgatbreedte bij de drie oplossingen werden namelijk wel in beschouwing genomen.

De groei van de ontgrondingskuilen in de tijd zal evenwel bij de drie hoofdvarianten verschillen. Bij de caissons verloopt het ontgrondingsproces het snelst wanneer de caissons worden geplaatst, en bij de verdere vernauwing door middel van de schotbalken. Als de kering gereed is, hebben de ontgrondingen vrijwel overal hun maximumwaarde bereikt. Bij de stormvloedkering met pijlers zullen de ontgrondingen nog in een later stadium doorgaan, omdat het profiel door de plaatsing van de pijlers minder vernauwd wordt.

Het stroombeeld in de eindfase, en daarmee het verloop van de ontgrondingen langs de rand van de bodembescherming blijkt bij het "brievenbus"-profiel zeer gevoelig te reageren op het verloop van de onderkant van het definitieve doorstroomprofiel; zo gevoelig, dat het niet verantwoord lijkt voor de definitieve vormgeving geheel op het modelonderzoek af te gaan.

Een zekere mate van aanpasbaarheid van het verloop van de onderkant van het doorstroomprofiel wordt daarom mogelijk gemaakt door middel van een in hoogte aanpasbare dorpelconstructie. Hierdoor wordt het mogelijk het stroombeeld na het gereedkomen van de kering nog te corrigeren.

6.3.4. Maatregelen ter voorkoming van stabiliteitsverlies aan de rand van de bodembescherming

Een zettingsvloeiing wordt ingeleid door een afschuiving. Wanneer afschuivingen voorkomen kunnen worden, is ook het gevaar voor vloeiingen geweken. Men tracht afschuivingen te voorkomen door de helling van de ontgrondingskuilen met grind te bestorten. Dit kan alleen terwijl het ontgrondingsproces aan de gang is. Een moeilijkheid daarbij is dat ontgrondingen vrij onregelmatig kunnen verlopen, en dat de steilte van de hellingen ook nog slecht voorspelbaar is.

Het tijdstip van bestorting moet steeds blijken uit lodingen. Het gevaar dat een ontgrondingskuil te diep en te steil wordt tussen twee lodingen in, is zeker niet denkbeeldig. Er kan dan alsnog een vloeiing optreden; bestortingen alleen zijn daarom niet voldoende.

Een zettingsvloeiing is slechts mogelijk in losgepakt zand. Door het zand in de omgeving van de rand van de bodembescherming te verdichten wordt de kans op een vloeiing minimaal. Vóór het aanbrengen van de laatste mat van de bodembescherming wordt daarom een strook grond tot een diepte van 15 m verdicht. Zodra bij een ontgrondingskuil een onbeschermd stuk steile helling wordt geconstateerd - bijvoorbeeld een helling 1:3 en een diepte van 5 m- wordt die helling afgestort met bijvoorbeeld fosforlakken. Wanneer de kuil een diepte heeft bereikt van 10 à 15 m wordt opnieuw verdicht tot op 25 m diepte (Fig. 29). Op deze wijze wordt de kans op een afschuiving gevolgd door een zettingsvloeiing aanvaardbaar klein gehouden. Verwacht wordt dat het tijdsbestek waarin ontgrondingen van 10 tot 15 m ontstaan wel zo groot is, dat de tweede fase van het verdichten tijdig uitgevoerd kan worden. Bij caissons op pijlers vinden de ontgrondingen in een later stadium plaats, wat in dit ver-

band gunstiger is. Ter voorkoming van afschuivingen worden, zoals gesteld, bestortingen uitgevoerd. Nagegaan wordt of deze bestorting ook vooraf aangebracht kan worden en daarbij een zodanige dosering toe te passen dat de overgang van de bodembescherming naar onbeschermd bodem heel geleidelijk verloopt. Daarmee is het in principe mogelijk de helling zo te verflauwen dat het gevaar voor afschuiven verdwijnt. De praktische uitvoerbaarheid van dit soort bestorting is echter nog in onvoldoende mate uitgewerkt; het verdient aanbeveling het onderzoek ernaar voort te zetten. Zowel bestortingen tijdens het ontgronden, als verdichtingsmaatregelen - althans de tweede fase ervan - zouden daardoor achterwege kunnen blijven.

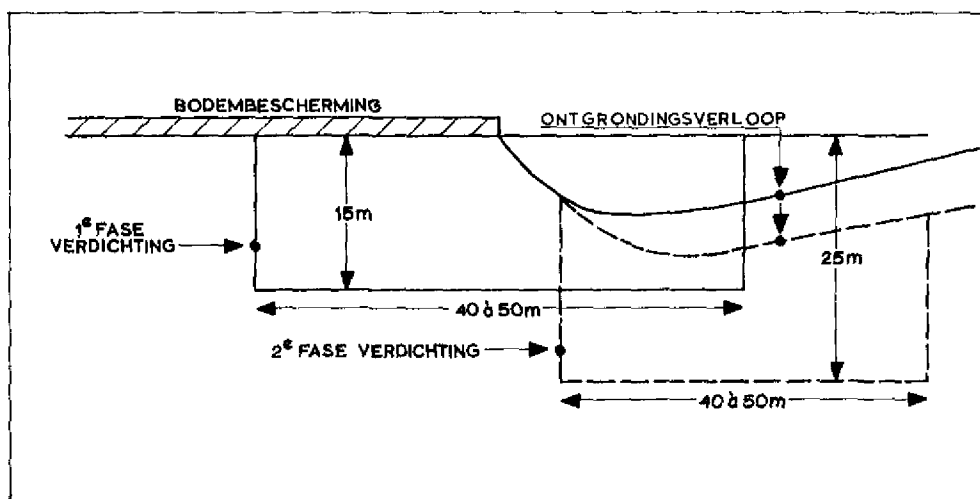


Fig. 29

Verdichting van de rand van de bodembescherming

#### 6.4. BESCHOUWDE FUNDERINGSMETHODEN OP PALEN EN PUTTEN, SELECTIE EN ONTWIKKELING NAAR HUIDIGE INZICHTEN

##### 6.4.1. Inleiding

Bij het ontwerpen van een stormvloedkering in de Oosterschelde is in eerste instantie uitgegaan van een fundering op staal. Zo'n fundering leek constructief en financieel gezien het

meest aantrekkelijk. In de loop van de studieperiode zou evenwel kunnen blijken dat deze funderingswijze niet of moeilijk realiseerbaar zou zijn. Daarom zijn tegelijkertijd ook andere funderingsmethoden voor caissons getoetst op hun toepassingsmogelijkheden in de Oosterschelde, zoals fundering op palen of putten.

Eerst is een onderzoek ingesteld naar de in aanmerking komende paaltypen.

Men onderscheidt geprefabriceerde palen en ter plaatse gemaakte palen.

In de eerste groep kunnen worden ondergebracht voorgespannen massieve betonpalen en stalen buispalen.

De tweede groep omvat boorpalen, diepwanden en palen, samengesteld uit damwandprofielen. Voorgespannen holle betonpalen en betonnen putten kunnen worden beschouwd als een tussenvorm. De toepasbaarheid van elk paalttype is vervolgens getoetst aan een aantal criteria. Om in aanmerking te komen voor de fundering onder de stormvloedkering moest een paalttype de op de caissons werkende belastingen kunnen overbrengen naar de draagkrachtige ondergrond. In de tweede plaats moesten er tot op grote diepte constructieve verbindingen mee kunnen worden gemaakt van hoge kwaliteit. Voorts moest een paalttype geschikt zijn om door een drempelconstructie heen te worden aangebracht, dan wel, er moest naderhand een drempel omheen kunnen worden gelegd. Tenslotte moest het paalsysteem kunnen worden aangebracht onder de aanwezige omstandigheden, zoals stromingen, weersinvloeden of de aanwezigheid van een bodembescherming.

Hieronder volgt een beschouwing van de in aanmerking komende paaltypen. De voorkeur gaat uit naar een fundering op betonnen putten (6.4.8.).

#### 6.4.2. Voorgespannen geprefabriceerde betonpalen met kleine doorsnede

Gezien het grote aantal benodigde palen en de hieruit volgende lange heitijd is het praktisch gezien onmogelijk dit soort palen in de beschikbare tijd aan te brengen.

Aangezien het onmogelijk is de drempel na het heien van de palen aan te brengen, dienen de palen door de drempel heen te worden geheid; dit stuit op praktisch onoplosbare uitvoerings-



technische problemen, evenals het maken van een constructieve verbinding tussen de palen en de onderkant van de caissons. Dit paaltype komt niet in aanmerking.

#### 6.4.3. Stalen buispalen

Bij toepassing in scheve stand - technisch gesproken "schoorstand" - zijn grote lengten noodzakelijk; de optredende spanningen in de palen zijn echter gering, zodat de constructie uit het oogpunt van materiaalgebruik oneconomisch is. Het schoorheien van deze grote palen is zeer problematisch. Bij toepassing in verticale stand voldoen deze palen, wat hun sterkte betreft, wel zeer goed.

De ervaringen bij de bouw van de kabelbaantorens in de Oosterschelde leert, dat het heien van deze palen vóór het aanbrenge van de drempel zeer wel mogelijk is. Heien door de drempel heen zal niet zonder problemen gaan. Drempelmateriaal dat aan de binnenkant van de holle paal terechtkomt, zal er uit verwijderd moeten worden, omdat de paal anders te veel weerstand gaat bieden bij verder doordringen in de ondergrond. Uit heiproeven is gebleken dat de palen zelf vrijwel geen schade ondervinden van het heien door een bodembescherming. De noodzaak van bescherming tegen corrosie is een onderwerp dat nader bestudeerd zal moeten worden.

Vanwege de vereiste inklemmingslengte van de palen in de caissons is het noodzakelijk eerst de caissons te plaatsen en de palen daarna door sparings in holle tussenwanden heen te heien. De caissons moeten hiervoor dus worden uitgerust met dikke tussenwanden. Dit resulteert in een zo'n aanzienlijke verkleining van het doorstroomprofiel dat toepassing alleen mogelijk is, bij het inmiddels al om andere redenen (4.3.) verworpen spleetprofiel. Bovendien zouden de caissons in de periode die verloopt tussen hun plaatsing en het heien en vastmaken van de stalen buispalen, gefundeerd zijn op staal. Zowel caisson als drempel zouden voor die korte periode moeten voldoen aan de eisen van kwaliteit en stijfheid die behoren bij een fundering op staal. Onder meer om deze reden wordt een fundering met stalen buispalen uit een oogpunt van tijd en kosten onaantrekkelijk.

Ook dit paalttype komt dus niet in aanmerking.

#### 6.4.4. Boorpalen

Boorpalen vereisen, ongeacht of men ze voor of na het leggen van de drempel aanbrengt, vooraf het inheien van een zware buitenmantel. Het is zeer moeilijk deze mantel nadat de paal erin is gestort en voldoende is verhard, terug te winnen. Bovendien is het denkbaar dat de boorpalen als ze voorafgaand aan het leggen van de drempel al zijn aangebracht, bij het maken van de drempel worden beschadigd.

Om uitvoeringstechnische redenen komt ook dit type palen niet in aanmerking.

#### 6.4.5. Diepwanden

De uitvoeringstechnische problemen bij een fundering op diepwanden komen in grote lijnen overeen met die bij een fundering op boorpalen. Om de samengestelde wand als één schijf te laten werken, - en dit is nodig omdat de berekening daarvan uitgaat - moet de constructieve verbinding tussen de verschillende diepwandelementen aan onhaalbaar hoge kwaliteitseisen voldoen. Daarom komt ook dit type niet als fundering in aanmerking.

#### 6.4.6. Uit damwand samengestelde palen

Het heien van damwandprofielen door de drempel heen is praktisch onmogelijk. Wel kunnen de benodigde ca. 50 m lange damwandplanken met gebruik van hulpconstructies zoals een hefeiland vóór het leggen van de drempel worden aangebracht, al gaat dit de normale heitechniek te buiten. Er bestaat echter geen garantie dat er geen planken uit het slot lopen, en er moet dus rekening mee worden gehouden dat de wandkuip niet water- en grond dicht is.

Maatregelen om de damwandkuip toch waterdicht te krijgen kunnen aanleiding geven tot grote uitvoeringstechnische problemen. Wil men een uit damwand samengestelde paal als één buigstijve constructie laten werken, dan moet de grond in de paal worden verwijderd en vervangen door onderwaterbeton.

Er is echter geen zekerheid te geven dat damwandstaal en onder-

waterbeton blijvend aan elkaar zullen hechten.

Toch is dit een constructieve eis, tenzij men de damwand opvat als verloren bekisting en de betonnen paal wapent. Aan de kwaliteit van het onderwaterbeton worden in dit geval echter zulke hoge eisen gesteld dat er mogelijk uitvoeringstechnische problemen ontstaan. Alhoewel niet direct is aangetoond dat deze funderingsmethode onuitvoerbaar is, levert ze zoveel constructieve en uitvoeringstechnische problemen op, dat besloten werd de studie verder te richten op de alternatieve oplossing "fundering op putten".

#### 6.4.7. Grote holle voorgespannen betonpalen

Palen van voorgespannen beton worden niet geheid, maar gecutterd, dat wil zeggen de grond in de holle paal wordt losgesneden en opgezogen.

Bij toepassing in schoorstand zijn grote lengten noodzakelijk. Schoorcutteren van zulke grote palen is praktisch gezien onmogelijk.

Bij toepassing in verticale stand blijken de gebruikelijke afmetingen van deze palen, als gevolg van de belastingen, aanzienlijk te worden overschreden.

Bij plaatsing na het aanbrengen van de drempel zal binnengedrongen drempelmateriaal en materiaal van de bodembescherming uit de paal verwijderd moeten worden voordat hij op diepte kan worden gecutterd.

De verbinding tussen de palen en de betonconstructie is constructief gezien zeer problematisch.

Een funderingssysteem dat louter en alleen bestaat uit dit soort palen komt niet in aanmerking.

#### 6.4.8. Betonnen putten

Funderingstechnisch bieden grote betonnen putten een oplossing als grondslag zowel voor caissons als voor pijlers. Kiest men de pijleroplossing dan zullen 83 putten van 46 bij 16 m op diepte gebracht moeten worden; bij de caissonoplossing moeten er 84 putten van 28 bij 10 m en 78 putten van ca.  $\varnothing$  9 m de grond in. In beide gevallen is voor dit werk een periode

van 5 à 6 jaar beschikbaar. Nog nooit eerder zijn dergelijke grote putten onder Oosterscheldeomstandigheden op diepte gebracht.

Wel is, bij de bouw van de Zeelandbrug en van de kabelbanen voor de afsluiting van het Haringvliet en het Brouwershavense Gat ervaring opgedaan met putten Ø 4,5 m, waarvan er totaal ongeveer 170 zijn gemaakt. De werkomstandigheden daarbij waren enigszins vergelijkbaar met die in de monding van de Oosterschelde. Ook zal dezelfde ontgravingsprocedure weer worden toegepast. De ervaringen met grote betonnen putten zijn wat de uitvoeringsduur betreft niet onverdeeld gunstig. Veelal is dit met name in Nederland en Engeland te wijten geweest aan moeilijkheden met het weghalen van kleilagen wat samenhang met het ontgravingsprocédé met grijpers; in Zwitserland bleven soms rotsblokken vastzitten onder de snijrand. Routine kan echter veel goed maken. Bij de Zeelandbrug deed men er bij de eerste put een week over om op diepte te komen, maar na enige tijd gingen de putten in 5 à 10 uur naar de gewenste diepte.

Als men op het water werkt, kan er ook veel gemakkelijker en sneller extra ballast - bijvoorbeeld een gedeelte van het gewicht van het werkschip (de Catamaran) - op de put worden aangebracht dan op het land.

Er zullen bij het plaatsen van de putten voorzieningen getroffen kunnen worden om de wrijving tussen de putwand en de grond te verminderen.

Het bouwmaterieel, zoals kuipen, cutters en Catamaran, moet voldoende reserve in zich hebben om een vlotte uitvoering te garanderen. In de gemaakte voorontwerpen wordt zo'n extra reserve realiseerbaar geacht.

Mocht blijken dat de uitvoering ondanks alle voorzieningen te lang duurt, dan kan lopende het werk alsnog besloten worden tot de bouw van extra materieel.

Zowel voor de pijleroplossing als voor de oplossing met diepgefundeerde caissons is men bij het verdere onderzoek uitgegaan van een fundering op putten.

## 6.5. BESCHOUWDE CAISSONTYPEN, SELECTIE EN ONTWIKKELING NAAR DE HUIDIGE INZICHTEN

### Inleiding

In een lange reeks van jaren is bij de Deltawerken ervaring opgedaan met het bouwen, varend vervoeren en plaatsen van caissons. Ook al werd tegelijkertijd gewerkt aan een systeem van geleidelijke sluitingen met behulp van een kabelbaan, de bouw en het gebruik van caissons en daarmee de ontwikkeling ervan stond eigenlijk nooit stil. De reeks van ervaringen met caissonsluitingen wordt gekenmerkt door een voortdurende schaalvergroting. Niet alleen werden steeds bredere en diepere geulen met caissons dichtgezet, ook caissons bij de opeenvolgende sluitingen vertonen een beeld van toenemende afmetingen en daarmee constructief van grotere complexiteit.

De meest recente caissonsluiting vond plaats in 1971 in een van de hoofdgeulen van het Brouwershavense Gat.

Ook voor de afsluiting van de Oosterschelde werd als alternatief van de kabelbaansluiting voorbereid, een sluiting door middel van zogenaamde vakwerkligger-caissons.

In 1970 was derhalve reeds een realiseerbaar caissonontwerp voor de sluitgaten in de Oosterscheldemonnd voorhanden.

Een indruk van de schaalvergroting der caissons kan men krijgen uit onderstaande tabel.

| caissonstype                    | jaar van sluiting | l x b x h<br>in m | diepgang<br>in m | waterver-<br>plaatsing<br>in tonnen |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------------------------|
| Phoenix AX                      | 1953              | 62 x 18 x 12      | 6,60             | 7.700                               |
| Veerse Gat                      | 1961              | 46 x 20 x 18      | 4,95             | 4.540                               |
| Lauwerszee                      | 1969              | 35 x 15 x 12      | 3,60             | 1.845                               |
| Volkerak                        | 1969              | 45 x 15 x 13      | 4,80             | 3.250                               |
| Brouwershaven-<br>se Gat        | 1971              | 68 x 18 x 16      | 6,10             | 7.470                               |
| Vakwerkliggers<br>Oosterschelde |                   | 100 x 28 x 25     | 10,00            | 27.000                              |
| Caisson storm-<br>vloedkering   |                   | 53 x 50 x 32      | ca. 17,00        | 45.000                              |

In tegenstelling tot de caissons bij vroegere afsluitingen, die steeds een kortdurende functie hadden - ze werden immers vrij kort na plaatsing in een dijklichaam opgenomen - hebben de caissons voor de stormvloedkering een permanente functie. Mede daarom moeten ze ontworpen worden op veel grotere belastingen en duurzaamheid.

#### 6.5.2. Ontwikkeling caissontypen

In de aanvang van de studieperiode heeft een "brainstorming" plaatsgevonden waarin naast de meest uiteenlopende niet-conventionele ideeën ook de conventionele vakwerkligger-caisson en een caisson met een hooggelegen betonnen koker verder uitgewerkt zijn voor toepassing in het ontwerp van de stormvloedkering. De zogenaamde vakwerkligger-caisson ontleent zijn wringstijfheid en zijn naam aan een stalen vakwerkligger in de langswanden. In de permanente caissons van de stormvloedkering kan zo'n vakwerkligger niet toegepast worden wegens de te verwachten corrosie van het staal ondanks een beschermende laag. Bovendien stuit men bij stalen en ook bij betonnen vakwerkliggers op onoverkomelijke constructieve problemen. Vakwerkliggers beperken het doorstroomprofiel zozeer dat een in kosten optimale oplossing er niet mee bereikt kan worden. Aanvankelijk dacht men de caisson voldoende wringstijfheid te kunnen geven door het toepassen van een bovenkoker. Bij de veronderstelde grondeigenschappen en onvlakheden echter bleek deze constructie niet wringstijf genoeg. Men moest overgaan op constructies met onderkokers, al of niet in combinatie met bovenkokers.

Dit resulteerde in 3 hoofdontwerpen (fig 30);

- de "open bak"-caisson,
- de "halve bak"-caisson en
- de "venturi"-caisson.

#### De "open bak"-caisson

Deze caisson bestaat uit een laaggelegen kokerconstructie met daarop vrijstaande wanden. Tussen de wanden staan de schuiven, met de bovenkant op N.A.P. +5,3 m, zijnde de vereiste keerhoogte.

Door de kerende hoogte van de caisson niet hoger te maken dan de stormvloedstand, wordt de totale horizontale golfbelasting op de caisson beperkt. Een deel van de golftoppen slaat dan over de schuiven heen.

De ruimte in de laaggelegen kokerconstructie kan worden gevuld met ballast ten behoeve van de stabiliteit in de eindfase.

#### De "halve bak"-caisson

De "halve bak"-caisson bestaat uit een laag- en een hooggelegen kokerconstructie die door wanden aan elkaar zijn verbonden. De kering wordt gevormd door de schuiven en de bovenkoker, waarin tevens de bewegingswerken van de schuiven worden opgesteld.

De bovenzijde van de bovenkoker ligt op N.A.P. +7 m; de totale horizontale golfbelasting is daardoor bij dit type groter dan bij de "open bak".

Uit laboratoriumonderzoek bleek onder andere dat het de voorkeur verdiende de bovenkoker achter de schuif te plaatsen, zulks in verband met de verticale golfbelasting tegen de onderkant van de bovenbak.

De benodigde wringsterkte wordt geleverd door de onderkoker en de bovenkoker samen. De onderkoker hoeft in vergelijking met de "open bak" dan ook minder hoog te zijn, hetgeen neerkomt op verruiming van het doorstroomprofiel.

Ook de wanden tussen boven- en onderkoker zijn, in vergelijking met de vrijstaande wanden van de "open bak" dunner, hetgeen wederom een vergroting van het doorstroomprofiel oplevert. Evenals bij de "open bak" wordt de onderkoker gevuld met ballastmateriaal om de stabiliteit te verzekeren.

#### De "venturi"-caisson

Dit is een gemodificeerde vorm van de "halve bak"-caisson: de vloer en het plafond van de doorstroomkoker liggen hier niet vlak, maar onder een helling van 1 : 8. Het belangrijkste voordeel van deze constructievorm ligt in het feit dat de schuiven ten opzichte van die in de beide andere typen aanmerkelijk kleiner van oppervlak zijn.

Een nadeel is dat aanzienlijk meer ballastgewicht benodigd is ten behoeve van de stabiliteit, en dat de diepgang tijdens

transport relatief groot is.

Door het ontbreken van een vrije waterspiegel kunnen zich problemen voordoen met eventuele ijsafvoer naar de Noordzee.

#### Keuze tussen de hoofdontwerpen

Bij vergelijking van de drie geselecteerde caissonvormen stak de "open bak"-constructie op vele punten ongunstig af tegen de beide andere, onder andere door grotere diepgang, hogere kosten en minder doorstroomprofiel.

De "halve bak"-caisson en de "venturi"-caisson leken op de meeste punten gelijkwaardig; de "venturi"-caisson bleek echter alleen toepasbaar bij een "spleet"-profiel.

Daarentegen was de "halve bak" zowel voor het "spleet"-profiel als het "brievenbus"-profiel geschikt.

Aangezien de voorkeur uitgaat naar een zo breed mogelijk sluitgatprofiel, bleef de "halve bak" als enige caissonvorm over. Met deze caisson kan een totaal doorstroomprofiel van minimaal 30.000 m<sup>2</sup> tijdens het plaatsen worden gerealiseerd, terwijl door het aanbrengen en eventueel later verwijderen van dorpelbalken elk gewenst profiel in de eindfase kan worden bewerkstelligd.

#### 6.5.3. De oplegging op de drempel

De oplegging op de drempel is een fundamenteel aspect van het caissonontwerp. Hier wordt bepaald hoe het totale krachterspel tussen caisson, drempel en ondergrond zal verlopen. Essentiële randvoorwaarden zijn hierbij de lastvervormingseigenschappen van drempel en ondergrond tezamen, en de vlakheidscondities van de drempel.

De oplegging van de caissons is onderwerp geweest van uitvoerige studie en van modelonderzoek.

Aanvankelijk richtte het ontwerp zich op het realiseren van een volledige aansluiting tussen caisson en drempel. Men wilde dit bereiken door de 70 m lange en 40 m brede caisson na plaatsing te ondervullen met cementmortel. De open ruimten tussen de tijdelijke opleggingen zouden daarbij geheel met een verharde, erosie-bestendige specie worden gevuld. Zelfs werd aan de moge-



lijkheid gedacht de caissons door het onder hoge druk aanbren-  
gen van de mortel verticaal te stellen. De volledige aanslui-  
ting die de vulspecie bewerkstelligt, beperkt de onderloopsheid  
tot een minimum. De schuifweerstand van een ondervulde caisson  
is hoog. Weliswaar leveren de verschillen in vervormingseigen-  
schappen van de ondergrond enige complicaties op voor het cais-  
sonontwerp, maar deze werden niet onoplosbaar geacht.

Tegen dit procédé van "undergrouting" pleit echter het uitvoe-  
ringstechnisch complexe karakter van de ondervulling.

Een eenvoudiger systeem van krachtenoverdracht tussen caisson,  
drempel en ondergrond wordt verkregen als de caissons met een  
permanente drievlaksoplegging ondersteund kunnen worden. Grond-  
mechanisch blijkt zo'n oplegging geoorloofd, mits gefundeerd op  
een drempel met door verdichting verbeterde schuifweerstand.  
Het ontwerp wordt bij deze oplegging overzichtelijker en de  
caissons iets lichter. De vervormingseigenschappen van drempel  
en ondergrond hebben veel minder invloed op het ontwerp. Bij de  
drievlaksoplegging wordt de ondersteuning beter naarmate de  
caissonlengte kleiner is. De spanningen in de betonconstructie  
nemen toe naarmate de lengte van de caisson groter is, en in  
mindere mate ook wanneer de breedte toeneemt. Er bestaat dus  
voorkeur voor een kort en breed caisson.

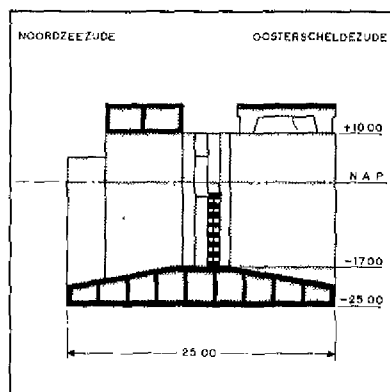
Mede op grond van uitvoeringsvoorwaarden en vanwege de vereis-  
te minimale diepgang is gekozen voor caissons van 50 m lang en  
50 m breed.

Voor de benodigde stabiliteit wordt extra ballast aangebracht  
boven de oplegvlakken.

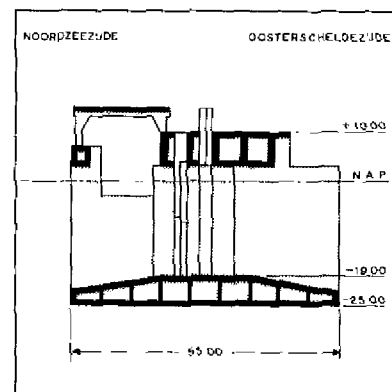
Kritisch in dit ontwerp is de schuifweerstand van de steunvlak-  
ken van de caissons op de drempel.

Uit proeven bleek dat reeds bij beperkte verplaatsing voldoen-  
de schuifweerstand wordt gemobiliseerd indien de steunvlakken  
worden voorzien van onderuitstekende stalen pennen.

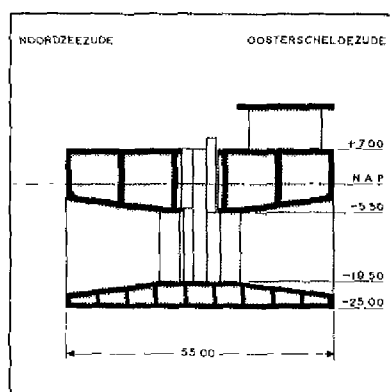
Ten aanzien van de corrosiebestendigheid van de stalen pennen  
zal nog onderzoek plaats moeten vinden.



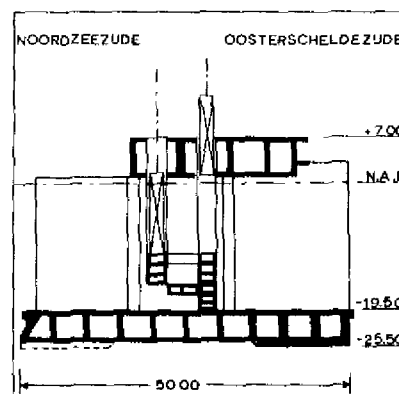
a. "OPEN BAK"-CAISSON



b. "HALVE BAK"-CAISSON



c. "VENTURI"-CAISSON



d. "HALVE BAK"-CAISSON VOOR BRIEVENBUSPROFIEL

Fig. 30

#### Ontwikkeling caissonontwerpen

##### 6.5.4. Caissons gefundeerd op putten

Ook wanneer besloten wordt tot fundering van de caissons op putten, kiest men voor de "halve bak"-caisson, met dien verstande dat de caissons dan afmetingen krijgen van 40 x 40 m en de bovenkoker slechts 4 m hoog wordt.

Ook hierbij is het mogelijk later een verruiming van het eindprofiel tot 20.000 m<sup>2</sup> te bewerkstelligen.

#### 6.5.5. Bouw van de caissons

Voor de bouw van de caissons zijn twee bouwputten aangelegd achter het damvak Geul. Tussen de bouwputten is een haven met werkterrein ontworpen. Voor het vervoer van personeel naar de bouwputten is een brugverbinding voorzien vanaf de Damaanzet Schouwen naar het werkeiland Neeltje Jans.

#### 6.6. PLAATSEN VAN CAISSONS

##### 6.6.1. Drijven

##### De drijfmiddelen

Bij de vroegere caissonsluitingen zoals die in het Veeregat, het Volkerak, de Lauwerszee en het Brouwershavense Gat, werden de caissons drijvend gemaakt door het plaatsen van houten drijfschotten voor de doorstroomopeningen. De breedte van de doorstroomopeningen bedroeg nooit meer dan 5 m. Bij de nu ontworpen stormvloedkerende caissons is de afstand tussen de tussenwanden echter driemaal zo groot; houten drijfschotten komen bij zulke tussenafstanden niet meer in aanmerking.

Het grote aantal caissons geeft daarnaast reden om te zoeken naar drijfmiddelen die geschikt zijn voor universeel hergebruik, en waarbij op de caissons geen voorzieningen behoeven te worden aangebracht.

De voor de stormvloedkering ontworpen caissons hebben een zo groot eigen gewicht en daarmee een zo grote diepgang dat ze niet zondermeer op de drempels kunnen worden geplaatst.

Er moesten drijfmiddelen ontworpen worden die aan de caissons extra drijfvermogen geven.

Deze eisen hebben geleid tot een uitgebreid onderzoek, waarin ongeveer dertig verschillende mogelijkheden van drijfmiddelen zijn onderzocht.

De meest aantrekkelijke mogelijkheden blijken te zijn:

- Ongedeelde stalen drijfschotten met eraan verbonden drijflichamen; elk drijfschot sluit alle doorstroomopeningen van een caisson aan één zijde af;
- Onderling gekoppelde ongedeelde stalen drijfschotten, met er-

aan verbonden drijflichamen; de twee drijfschotten van één caisson zijn over de caisson heen aan elkaar gekoppeld. Onderling gekoppelde ongedeelde drijfschotten hoeven pas te worden toegepast als de beschikbare diepgang van het drijfschot zo klein is, en de breedte daardoor zo toeneemt dat koppels en krachten niet meer direct op de caisson kunnen worden overgebracht. Ook het opvoeren van het extra drijfvermogen kan ertoe noodzaken de drijfschotten onderling te koppelen. Alle voorzieningen nodig voor het koppelen van de drijfschotten aan de caisson en voor het doen opdrijven of afzinken van de caisson zijn in het drijflichaam opgenomen. De drijflichamen zijn bruikbaar op alle typen caissons.

Op de caissons zijn alleen nog voorzieningen aangebracht die nodig zijn voor het positioneren ter plaatse van de drempel. Met het oog op het uitvoeringsschema, en de mogelijke risico's en schadekansen is gekozen voor twee stel oftewel vier stuks drijflichamen.

Voor de op putten gefundeerde caissons zijn namelijk gezien het grote aantal van 78 stuks twee stel drijflichamen noodzakelijk. Zowel de caissons gefundeerd op staal als die gefundeerd op putten kunnen met behulp van twee stel drijflichamen bij daglicht worden vervoerd en geplaatst in werkweken van 6 dagen, rekening houdend met door wind, deining en mist onwerkbaar dagen.

De plaatsing van de caissons vindt plaats in de periode april t/m september.

In het werkplan wordt ervan uitgegaan dat in het jaar voor de plaatsing van de caissons in de dan reeds onder water gezette bouwput ervaring zal worden opgedaan met het aansluiten en koppelen van de drijflichamen, het opdrijven van de caissons, de stabilisatie, het transport, het afzinken, het nivelleren, het ontkoppelen van de drijflichamen, en met het opdrijven van de drijflichamen zelf.

#### 6.6.2. Transport

Nadat een caisson met behulp van de drijflichamen drijvend is gemaakt, wordt hij door middel van sleepboten in het dok naar

de afbouwsteiger gesleept. Deze sleepboten blijven tijdens het plaatsingsseizoen dienst doen in de bouwputten; ze worden in principe niet ingezet voor het transport van de caissons naar de afzinkplaats.

Aan de steiger wordt de caisson overgenomen door sleepboten die hem naar de plaatsingsponton moeten brengen. Het sleepvermogen dat hiervoor nodig is, neemt toe naarmate het profiel van de sluitgaten wordt vernauwd.

Het voorlopig bepaalde totaal benodigde sleepvermogen over de periode van plaatsen zal verlopen van ongeveer 40.000 tot 60.000 pk.

De caissons die geplaatst moeten worden in de Roompot en in de Schaar van Roggenplaat worden vanuit de opening in de bouwput via speciaal daarvoor gebaggerde geulen naar de drempels gesleept. Voorlopig wordt ervan uitgegaan dat de caissons voor de Hammen ten oosten van het eiland Roggenplaat door een nog te baggeren geul worden gesleept. De transportroutes zullen zowel in nautisch als in hydraulisch opzicht nog nader door middel van modelproeven onderzocht moeten worden.

#### 6.6.3. Plaatsingsmiddelen

De plaatsing kan geschieden door middel van een plaatsingsponton en sleepboten of door sleepboten alleen.

##### Plaatsing met sleepboten

Plaatsen met sleepboten alleen vereist een aantal voorzieningen op de reeds geplaatste en nog te plaatsen caissons.

Een van de primaire voorzieningen is daarbij de hydraulische arm. Dit is een koppelingsmechanisme dat ertoe moet dienen de positionering van de aankomende caissons zo nauwkeurig mogelijk te doen zijn. In dit stadium van het onderzoek bestaat er onvoldoende zekerheid of een caisson bij het invaren binnen het bereik van de arm van de reeds geplaatste caisson kan komen.

##### Plaatsing met ponton en sleepboten

Een plaatsingsponton ligt in de nabijheid van de drempel ver-

ankerd met kabels die deels verbonden zijn aan de reeds geplaatste caisson, deels aan gewichttankers.

Tijdens de hoogwaterkentering voorafgaand aan de LW-kentering of HW-kentering waarop zal worden afgezonken wordt de koppeling tussen caisson en ponton tot stand gebracht.

De plaatsingsponton met de caisson er aan vast wordt vervolgens door het verhalen van de ankerdraden op precies de juiste plaats gebracht.

Er moeten twee plaatsingspontons worden gebouwd: één voor de plaatsing van de caissons in de Roompot, de andere voor die in de Schaar van Roggenplaat en in de Hammen.

#### 6.6.4. Plaatsing

##### Positioneringsmiddelen

Nadat de caissons - dit geldt zowel voor caissons gefundeerd op staal als voor caissons gefundeerd op putten - door de plaatsingsponton naar de vereiste afzinkplaats boven de drempel zijn gemanoeuvreed, worden zij in de juiste positie gebracht door middel van kabels en een buffersysteem in langs- en dwarsrichting.

De te plaatsen caisson wordt opgevangen door een aanvaarbuffer, die zich op een reeds geplaatst caisson bevindt.

Nadat de spankabels vanaf de drijfschotten op een reeds geplaatste caisson zijn overgebracht en gespannen, worden de buffers voor langs- en dwarsgeleiding in werking gesteld.

De verplaatsingen blijven dankzij dit buffersysteem binnen de vereiste toleranties. Daarna wordt de caisson afgezonken. De eventuele bewegingen ten gevolge van stroom, wind en deining worden gedurende het afzinken door het kabel- en buffersysteem opgevangen.

##### Plaatsingstijd

Als uitgangspunt is genomen dat de plaatsingsmanoeuvres nabij de drempel mogen aanvangen bij snelheden kleiner dan 1m/sec en dat het caisson vóór de kentering aan de grond moet staan.

Er is ongeveer 55 minuten nodig om een caisson te plaatsen.

Dit is vastgesteld aan de hand van een draaiboek van alle handelingen tijdens het plaatsens.

De tijdsduur van de handelingen wordt bepaald dan wel geschat aan de hand van ervaringen met vorige plaatsingen.

De beschikbare tijd tussen het optreden van een snelheid van 1m/sec en de kentering is vastgesteld op grond van modelonderzoek. Deze tijd neemt sterk af naarmate het doorstroomprofiel wordt vernauwd.

Uit de volgende tabel blijkt dat de beschikbare tijd bij gelijkblijvend doorstroomprofiel rond de HW-kentering aanmerkelijk korter is dan bij de LW-kentering.

Ook blijkt de benodigde tijd bij het plaatsens van de laatste caisson theoretisch zelfs bij de LW-kentering niet geheel beschikbaar te zijn. De caissons aan de landzijde, die vanwege de geringe beschikbare waterdiepte persé op de hoogwaterkering moeten worden afgezonken dienen dus eerst te worden geplaatst.

| a                       | Roompot             |    |    | Schaar              |    |    | Hammen              |    |    |
|-------------------------|---------------------|----|----|---------------------|----|----|---------------------|----|----|
|                         | b                   | c  | d  | b                   | c  | d  | b                   | c  | d  |
|                         | $\mu A$ in<br>$m^2$ | HW | LW | $\mu A$ in<br>$m^2$ | HW | LW | $\mu A$ in<br>$m^2$ | HW | LW |
| Eerste<br>H.W.-caisson  | 30.870              | 86 |    | 13.340              | 86 |    | 13.340              | 74 |    |
| Laatste<br>H.W.-caisson | 29.380              | 72 |    | 11.850              | 70 |    | 11.850              | 55 |    |
| Eerste<br>L.W.-caisson  | 29.380              |    | 81 | 11.850              |    | 80 | 11.850              |    | 81 |
| Laatste<br>L.W.-caisson | 17.900              |    | 49 | 7.240               |    | 47 | 7.240               |    | 57 |

a = plaatsingsfasen caissons; b = doorstroomprofiel in diverse plaatsingsstadia; c, d = beschikbare plaatsingstijd op H.W.-respectievelijk L.W.-kentering in minuten.

Het modelonderzoek waarin de voor de plaatsingen beschikbare tijd werd onderzocht, ging uit van een gemiddeld tij.

In werkelijkheid kunnen de kenteringstijden wat langer of korter duren. Dit kan van invloed zijn op het totale tijdschema

van de plaatsingen en op de voor de plaatsingen benodigde krachten.

#### Plaatsingen op HW-kentering

Vanwege de diepgang van de caissons die in de minder diepe delen van de sluitgaten geplaatst moeten worden en in verband met de beperkingen van het drijfvermogen dat men kan toevoegen, dienen een aantal caissons op HW-kentering geplaatst te worden. Fundeert men op staal, dan moeten zowel in de Roompot, de Schaar van Roggenplaat en de Hammen vier caissons op de HW-kentering worden geplaatst; ook voor deze vier plaatsingen op de HW-kentering is inderdaad telkens meer dan 55 minuten beschikbaar.

Wordt de stormvloedkering op putten gefundeerd, dan dienen in de Roompot, de Schaar van Roggenplaat en de Hammen respectievelijk 12, 8 en 15 caissons op de hoogwaterkentering te worden geplaatst; ook hier is voldoende tijd voor beschikbaar.

#### Nauwkeurigheid

Welke plaatsingsnauwkeurigheid men wenst te bereiken wordt deels bepaald door technische deels door esthetische overwegingen. Er is van uitgegaan dat de afwijkingen in de richting van de dam-as beperkt zouden moeten blijven tot ca. 10 cm, en loodrecht op de dam-as tot ca. 25 cm. Indien de caissons op putten worden gefundeerd moeten stringente maatregelen worden genomen om een cumulatie van afwijkingen in één richting te voorkomen.

De middenpositie van de caisson zal bij deze funderingsmethode zo moeten worden gekozen dat hij ook in zijn meest extreme stand vrij blijft van het verhoogde deel van de put.

De optredende maatafwijkingen worden veroorzaakt door fouten in de theoretische positie en door bewegingen die de caisson tijdens de plaatsing nog maakt onder invloed van uitwendige belastingen. Bij gebruikmaking van optimale methoden van plaatsbepaling wordt de laatst genoemde oorzaak van afwijkingen bepalend geacht voor het uiteindelijke resultaat.

Tijdens de studie is gebleken dat de bewegingen onder invloed van uitwendige belasting alleen binnen de gestelde grenzen kun-



nen worden gehouden wanneer tijdens het afzinken gebruik kan worden gemaakt van vaste verankeringspunten. De vasthoudkrachten worden dan rechtstreeks bepaald door de veerconstante van de vasthoudmiddelen, die op hun beurt een grote invloed hebben op de optredende bewegingen. Door dit mechanisme is het noodzakelijk een compromis te vinden tussen optredende vasthoudkrachten en aanvaardbare maatafwijkingen.

Voorlopig is gekozen voor een systeem waarbij de krachten in de buffers beperkt blijven tot 600 kN en die in de draden tot 450 kN.

De hierbij optredende bewegingen zijn in voor de plaatsing maatgevende omstandigheden maximaal ca. 10 cm in de richting van de dam-as en ca. 30 cm in de richting loodrecht op de dam-as.

#### Werkbaarheid

Voordat een werkschema kon worden opgesteld, moest eerst een analyse gemaakt worden van het voorkomen van onwerkbaar omstandigheden.

Oorzaken voor onwerkbaarheid zijn mist, golven en wind. Het aantal mistdagen is geschat aan de hand van waarnemingen van de Rijkswaterstaat.

Voor wat betreft de invloed van golven tijdens de plaatsing is onderscheid gemaakt tussen caissons en drijfmiddelen enerzijds en de kleinere schepen anderzijds. Voor caissons en drijfmiddelen is uitsluitend het voorkomen van deining van belang. Aangenomen is dat van een onwerkbaar situatie moet worden gesproken indien de deininghoogte op de Oosterschelde groter is dan ca. 0,3 m.

Voorts is een windsnelheid van 13,8 m/sec, dat is de bovengrens van windkracht 6, aangenomen als grens van de werkbaarheid.

#### Modelonderzoek

Om inzicht te verkrijgen in de optredende krachten en verplaatsingen zijn door het Waterloopkundig Laboratorium en door het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation een aantal onderzoeken uitgevoerd.

In eerste instantie is de sleepweerstand van caisson met drijfmiddelen bepaald bij verschillende "keelclearance" en stroom-

snelheid, waarbij bovendien de plaats ten opzichte van de drem-  
pel en de geplaatste caissons werd gevarieerd.

Ook werd de invloed nagegaan van de oriëntatie van de drijfmid-  
delen. Dit onderzoek werd uitgevoerd met vrij sterk geschemati-  
seerde modellen.

Op basis van deze onderzoekresultaten werd het benodigd sleep-  
vermogen bepaald.

In een later stadium is bovendien het gedrag in de golven on-  
derzocht van een caisson met drijfmiddelen al dan niet gecombi-  
neerd met stroom. Dit deel van het onderzoek was gericht op het  
bepalen van de vasthoudkrachten en de verplaatsing in de laat-  
ste fase van het afzinken.

De proeven hebben aangetoond dat de caisson alleen gevoelig  
voor deining. De krachten en bewegingen onder invloed van dei-  
ning zijn van dien aard dat in de maatgevende omstandigheden  
een redelijke plaatsingsnauwkeurigheid mogelijk is.

Een aanvullend onderzoek is noodzakelijk met modellen die de  
definitieve vorm van drijfmiddel en caisson juister weergeven.  
Daarbij moeten ook dynamische afzinkproeven worden uitgevoerd. De-  
ze aanvullende proeven zullen invloed hebben op details van de  
vormgeving.

#### Plaatsen van caissons op putten

Het voorafgaande heeft met name betrekking op het plaatsen van  
caissons gefundeerd op staal.

Bij caissons op putten neemt het aantal caissons toe, en daar-  
mee het aantal plaatsingen op de HW-kentering.

Het doorstroomprofiel is in de plaatsingsfase echter aanzienlijk  
groter. Ook zal door de kleinere afmetingen van de caissons, het  
benodigd sleepvermogen geringer zijn. De grote nauwkeurigheid  
waarmede de caissons op de opleggingen moeten worden afgezonken  
stelt echter zulke hoge eisen aan de beheersing van de afzink-  
manoeuvre, dat de realiseerbaarheid ervan waarschijnlijk op de  
grens van het mogelijke ligt. Vooralsnog moet aan het plaatsen  
van de caissons op putten een aantal vraagtekens worden gesteld.  
De gevolgen van een misplaatsing zijn ook veel ernstiger dan bij  
caissons op staal, omdat er dan schade aan de opleggingen kan

ontstaan.

#### 6.6.5. Reserve-caissons

Er moet rekening mee worden gehouden dat een caisson tijdens transport verloren gaat of door een andere oorzaak onbruikbaar wordt.

Hoewel de kans daarop bij gebrek aan statistische gegevens niet te berekenen is, verdient het aanbeveling om evenals bij de drijfschotten over reserve-caissons te beschikken voor het geval dat één of meer caissons onverhoopt onbruikbaar zou geraken.

De reserve-caissons kunnen aanvankelijk worden opgebouwd zonder bovenbouw en pas na het optreden van een calamiteit worden afgebouwd. De sluitingsoperatie kan in zo'n geval normaal doorgaan terwijl men de reserve-caisson afbouwt. Volstaan kan worden met drie reserve-caissons, twee met een schuinverlopende bodem en één met een rechte bodem zowel voor de stormvloedkering gefundeerd op staal als voor die op putten.

### 6.7. PLAATSEN VAN PUTTEN EN PIJLERS

#### 6.7.1. Stabiliteit

Zowel voor een stormvloedkering die bestaat uit pijlers op putten als voor een kering bestaande uit caissons op putten, moeten funderingsputten worden gemaakt zij het dat ze voor de fundering van een caissonkering wat lichter kunnen worden uitgevoerd.

In het hierna volgende wordt daarom alleen de plaatsing van de putten van de eerstgenoemde oplossing behandeld.

De belangrijkste grondmechanische randvoorwaarde tijdens het plaatsen is dat de put op de vooraf vastgestelde diepte moet komen zonder dat er ontoelaatbare beschadiging aan de funderingsgrondslag wordt toegebracht. Om het zakken van de put mogelijk te maken is het noodzakelijk de grond aan de binnenzijde van de drie cirkelvormige compartimenten zo ver te ontgraven, dat de weerstand van de onderrand zo veel mogelijk gereduceerd wordt. Uit ervaring en uit berekeningen blijkt dat de hoogte

van de grondkolom binnen de put hiertoe in zandige bodem tot ca. 0,5 à 1 m teruggebracht moet worden. De verwachting is, dat bij normale voortgang van het zakkingsproces het eigen gewicht van de put toereikend is om de nog resterende grondweerstand te overwinnen. Uit ervaring en uit resultaten van proeven blijkt dat het aanbrengen van een glijlaag aan de buitenzijde van de put een sterk reducerend effect heeft op de wandwrijving. Een extra belasting van ca. 4.000 ton is beschikbaar voor het geval dat de penetratieweerstand bij enkele putten tegenvalt.

Deze extra belasting kan ook worden gebruikt om de putten tegen het einde van het ontgravingsproces met een grotere gronddekking binnen de put, op diepte te krijgen.

Het ontgraven zal geschieden met drie cutters, die met behulp van vijzels van bovenaf bestuurbaar zijn. Om te voorkomen dat de funderingsgrondslag verstoord wordt, zal tegen het eind van het cutterproces een waterhoogte binnen de put gehandhaafd worden.

Voordat het onderwaterbeton wordt gestort, zal de funderingsgrondslag worden gesondeerd; waar nodig zal de grond vervolgens worden verdicht.

Verder zal alle slib zorgvuldig van de bodem in de put worden verwijderd.

Omdat de put direct nadat hij op diepte is gebracht in een labiele toestand verkeert, is het noodzakelijk hem voor te belasten.

De stabiliteit van de put met stalen kuip kan tijdens de uitvoering in twee toestanden bedreigd worden, namelijk tijdens danwel na het afzinken, doch voordat het onderwaterbeton gestort is; en ook in de periode dat de put gevuld met onderwaterbeton en zand is leeggepompt.

De eerste situatie treedt op indien de Catamaran bijvoorbeeld bij een zware storm voortijdig moet vertrekken. Onder de tijdens de uitvoering te verwachten stormomstandigheden is de put in de hoofdrichting van de stroom in beide fasen voldoende stabiel. In de andere richting moeten echter voorzieningen worden aangebracht, bijvoorbeeld door middel van een trek/druk stempelverbinding met de naastgelegen pijler.

#### 6.7.2. Putten plaatsen

De putten hebben afmetingen van 46 m x 16 m, een maximale lengte van 26 m en een maximaal droog gewicht van 8.400 ton. De putten en de pijlers kunnen worden geprefabriceerd in de bouwput, in een werkhaven op steigers of op pontons.

Wanneer een gereedgemaakte put gebruikt gaat worden haalt de Catamaran een stalen kuip vanuit het sluitgat en plaatst die op de put. Nadat de stalen kuip verbonden is met de put en het geheel voorzien van cutters, bentoniet-installaties en intrek-balken, wordt het door de Catamaran opgehaald en bij werkbaar weer naar het sluitgat gevaren.

Bij aankomst wordt vastgemaakt aan gewichtsankers en bij de kentering wordt de put neergezet in een betrekkelijk nauwpas-send gat in de bodembescherming, dat kort daarvoor vrijgemaakt is.

Hierbij doet zich het probleem voor dat tijdens het plaatsen zanduitspoeling optreedt uit de ca. 1,5 m brede spleet tussen de put en de bodembescherming. Om deze ontgronding tegen te gaan zal een grindbestorting worden aangebracht. Deze bestor-ting kan een ongunstige invloed hebben op de glijlaag ter ver-mindering van de wandwrijving. Op plaatsen waar de snelheid van ontgronding beperkt zal zijn of waar in verband met de diepte van de put ontgrondingen in beperkte mate toe-laatbaar geacht kunnen worden, zal er daarom de voorkeur naar uitgaan de bestorting te beperken tot een aanstorting van de koppen der pijlers. Mogelijk zullen echter andere maatregelen ter beteugeling van de ontgrondingen noodzakelijk blijken te zijn. In dat geval zou toepassing van een betonnen kraag rond-om de put kunnen worden overwogen. Gesteld mag worden dat de ontgronding een belangrijk probleem vormt, waarnaar nog veel onderzoek zal moeten worden verricht. Deze problematiek wordt echter oplosbaar geacht.

Omdat de ontgravingen volledig onder water moeten geschieden ligt het voor de hand, dit met een cutterzuiger te doen, waar-bij het tevens mogelijk moet zijn cohesieve lagen te verwijde-ren. Elk van de drie cirkelvormige ruimten waaruit de put be-staat zal voorzien worden van een eigen cutterladder, die op de bovenste ringligger van de kuip in twee richtingen carda-

nisch is opgehangen.

Met behulp van stuurvizels die zich afzetten tegen de bovenrand van de kuip is het mogelijk de cutterkop elke gewenste route te laten beschrijven.

Met behulp van verticale vizels kan de cutterladder in zijn geheel vier meter in verticale richting op en neer bewogen worden. De cutter is uitgerust met een motor van ca. 400 pk en de zuigerpomp met een motor van bijna 1.000 pk. Theoretisch zal de produktie van de zuigperspomp naarmate de put meer op diepte komt toenemen, omdat de opvoerhoogte afneemt; de zaksnelheid van de put zal daarom in het begin van het cutterproces 2,2 m/uur bedragen en toenemen tot ca. 3 m/uur aan het einde. Met de gekozen installatie is het mogelijk stenen tot 15 cm diameter te verwijderen.

Elke put zal tijdens een kentering worden neergezet. Daarbij moet gestreefd worden naar een zo exact mogelijke plaatsing. Afwijkingen in de plaatsing van minder dan 0,5 m in alle richtingen kunnen nog geaccepteerd worden.

Verwacht mag worden dat de snijrand, wanneer de put met ca. de helft van het eigen gewicht op een zandbodem neergelaten wordt, minstens 1 m in de zandbodem zal dringen. Op plaatsen waar de bodem schuin loopt, zal de Catamaran door het recht houden van de put enigszins scheef komen te staan. Om dit te corrigeren kan waterballast ingenomen worden.

Het cutteren zal aanvangen aan de hoge zijde. Wanneer de put bij gelijke takelkrachten ongeveer verticaal staat, zal het normale cutterproces beginnen, waarbij de grond met een sneedikte van maximaal 0,5 m zal worden verwijderd.

In het begin zal de baan die de cutterkop beschrijft zo dicht mogelijk langs de betonrand lopen; in het midden van de ontgravingsruimte blijft dan een kegel staan.

Tijdens deze beginperiode zal de waterstand met behulp van inlaatkleppen en van een pompsysteem vrijwel worden gehandhaafd op het niveau van de buitenwaterstand.

Tegen het eind van het cutterproces, wanneer men aangekomen is op 2 à 3 m boven het vereiste niveau, zal ervoor gezorgd moeten worden dat de waterstand binnen de put minstens 0,5 à 1,5 m boven de buitenwaterstand blijft.

Tevens zal nu in kleinere sneedikten gecutterd moeten worden. In dit stadium drukt het gehele gewicht van de put op de grond. Indien noodzakelijk kan de Catamaran zijn volle gewicht van max. 4.000 ton als overbelasting op de put overbrengen. Op deze wijze wordt door beheerst ontgraven en een variabele intrekkracht langzaam het gewenste niveau benaderd. Nadat de put op diepte is, wordt de waterstand binnen nog verder opgevoerd, bijvoorbeeld tot 3 m verschil en wordt de putbodem met cutters opgeschoond.

Als gevolg van onnauwkeurigheden bij het neerzetten of wanneer de put tijdens het zakken is verlopen kunnen afwijkingen van de theoretische stand optreden.

Ze zullen later bij de plaatsing van de pijlerwand worden gecorrigeerd.

Bij de bepaling van de kuipafmetingen is rekening gehouden met de volgende maximale afwijkingen gemeten aan de bovenzijde van de kuip:

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| evenwijdig aan de stroomrichting | $\pm 1,5$ m  |
| dwars op de stroomrichting       | $\pm 1,5$ m  |
| hoogteligging                    | $\pm 0,5$ m. |

Na sondering en verdichting van de grondslag wordt de put achtereenvolgens gevuld met onderwaterbeton en zand.

#### 6.7.3. Pijlers plaatsen

De pijlers zullen een hoogte krijgen variërend van 26 m tot 36 m, een lengte van 35 m, een breedte van 4,5 m en een maximaal droog gewicht van 7.450 ton.

De pijler zal aan acht punten aan de uiteinden van vier dwars door het beton stekende balken worden opgehesen.

Tijdens het varen is de pijler met draden vertuid aan de Catamaran. Nadat de Catamaran de juiste positie heeft ingenomen ten opzichte van de put, wordt de pijler afgevierd in de gedeeltelijk nog met water gevulde kuip en komen de vier dwarsbalken op vijzels te rusten die van tevoren nauwkeurig geplaatst zijn. Met behulp van deze vijzels wordt de wand nauwkeurig op hoogte en verticaal gesteld.

De toleranties van de eindafwijkingen van de pijlerwanden zijn de volgende:

|                                              |              |
|----------------------------------------------|--------------|
| - afstand hart op hart                       | $\pm$ 50 mm  |
| - afwijking evenwijdig aan de stroomrichting | $\pm$ 100 mm |
| - verticale afwijking                        | $\pm$ 25 mm  |
| - scheefstand in dwarsrichting               | 1 : 500      |
| - scheefstand in langsrichting               | 1 : 1.000    |

Nu het extra gewicht van de pijlerwand op de put drukt is het toegestaan de kuip leeg te pompen, waarna de wapening kan worden gevlochten en het beton kan worden gestort voor de verbinding tussen pijlerwand en put.

#### 6.7.4. Materieel

##### Catamaran

Een essentieel onderdeel van de gehele pijlerplaatsing is ongetwijfeld de Catamaran. Dit schip, dat voor het bouwen van pijlers op putten ca. 8.800 ton hefvermogen moet hebben en voor de bouw van een stormvloedkering van caissons op putten 5.000 ton, zal de volgende werkzaamheden moeten verrichten (fig. 31):

- transport en plaatsing van putten;
- transport en plaatsing van pijlers;
- het ophalen van kuipen uit het sluitgat vanaf de pijlers die gereed zijn;
- plaatsing van deze kuipen op putten in de opslag.

Van het schip en de hijsapparatuur is een voorontwerp gemaakt. Enkele kenmerkende gegevens zijn:

- lengte 95 m; breedte 51 m; holte 10 m;
- diepgang beladen 7,7 m; diepgang ongeladen 4,75 m;
- totale hoogte kiel tot top van portaal 61 m;
- hijshoogte boven water bij vollast 45 m;
- waterdoorsnijdend oppervlak  $2.980 \text{ m}^2$ ;
- voortstuwing 2 schottels van elk 3.500 pk;
- totaal geïnstalleerd vermogen van ca. 15.000 pk;
- waterverplaatsing onbelast  $12.000 \text{ m}^3$ ; belast  $21.000 \text{ m}^3$ .

Voor het verankeren is het schip uitgerust met 8 lieren van 100 ton trekkracht en 220 ton houdkracht. De ankerdraden hebben een dikte van ca. 75 mm. De ankers zullen worden uitgevoerd als zware betonnen klokken, die tijdens het verplaatsen lichter gemaakt worden door er lucht in de pompen.



Omdat de ankers op betrekkelijk korte afstand vanaf het schip op de bodembescherming kunnen staan, worden de ankerdraden uitgevoerd met buffers teneinde voldoende absorptie van energie te verkrijgen.

Uit sleepproeven in het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation is gebleken dat onder extreme omstandigheden een voortstuwingsvermogen van ca. 15.000 pk vereist is.

Dit wordt gedeeltelijk geleverd door het eigen voortstuwend vermogen van 7.000 pk en voor het overige door sleepboten. Tijdens het transport van de putten zullen daarnaast sleepboten met een vermogen van totaal 4.000 pk voor hulpdiensten beschikbaar zijn.

Het hijsen geschiedt met acht lieren van ca. 60 ton trekkracht, uitgevoerd als continulieren; de draden zijn twaalfvoudig ingeschoren.

De bovenblokken bestaan elk uit 2 x 6 gelagerde schijven, opgehangen in een eigen deiningscompensator.

Voor het intrekken van de put wordt gebruik gemaakt van de hijs-takels door ze via een strop die om een laaggelegen schijf in de zijkant van het schip loopt, te verbinden met dwarsbalken over de kuip. Met het aantrekken van de takels wordt het schip opgelicht en komt zijn gewicht deels aan de put te hangen.

In het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation zijn modelproeven verricht om te controleren of de berekeningen van scheepsbewegingen, ankerkrachten en takelkrachten betrouwbaar zijn. De resultaten van deze proeven zijn verwerkt in het ontwerp. Grote aandacht is besteed aan de werkbaarheid van de Catamaran onder de voor de Oosterschelde kenmerkende omstandigheden.

Aangezien in het werkschema reserve aanwezig is voor onvoorziene omstandigheden heeft men het niet nodig geoordeeld een tweede Catamaran in te zetten. In de kostenopstelling is daar dan ook geen rekening mee gehouden.

#### Stalen kuip

De functie van de stalen kuip is het keren van water en het vormen van een droge werkruimte waarin de verbinding tussen

pijler en betonnen put gemaakt kan worden.

De kuip is opgebouwd uit een enkele beplating, die verticaal met T-profielen en horizontaal met bulbprofielen verstijfd is. Deze verstijfde plaat wordt ondersteund door drie horizontale regels en vier verticale kolommen.

Tussen stalen kuip en put is een rubber profiel aangebracht dat voor een waterdichte afsluiting moet zorgen.

De kuip wordt aan de put verankerd met behulp van voorspanelementen.

Uit de bouwcyclus blijkt dat men zes kuipen in moet zetten, ze kunnen identiek worden uitgevoerd. Bij de pijlers in de ondiepe delen zullen de kuipen dan wel boven het normale peil van N.A.P. +5m uitsteken.

In elke kuip wordt ca. 1.800 ton staal verwerkt.

#### 6.7.5. Opleggingen van caissons op putten

Wanneer de stormvloedkering niet uit pijlers op putten maar uit caissons op putten zal worden gebouwd, verloopt de bovenbeschreven laatste fase natuurlijk enigszins anders. In tegenstelling tot pijlers, die middels in het werk gestort beton in de putten zijn ingeklemd, staan de caissons los op de putten. In verband met de optredende krachten, de hoekverdraaiingen, de verplaatsingen en de plaatsingstoleranties van de caissons zijn oplegconstructies noodzakelijk tussen caisson en put. Mede gezien de vereiste levensduur komen alleen opleggingen van staal of rubber in aanmerking.

Na het ingraven van de putten worden de oplegconstructies in den droge geplaatst en van een tijdelijke bescherming voorzien. Voor de caissons daarop worden afgezonken, verwijdert men deze bescherming.

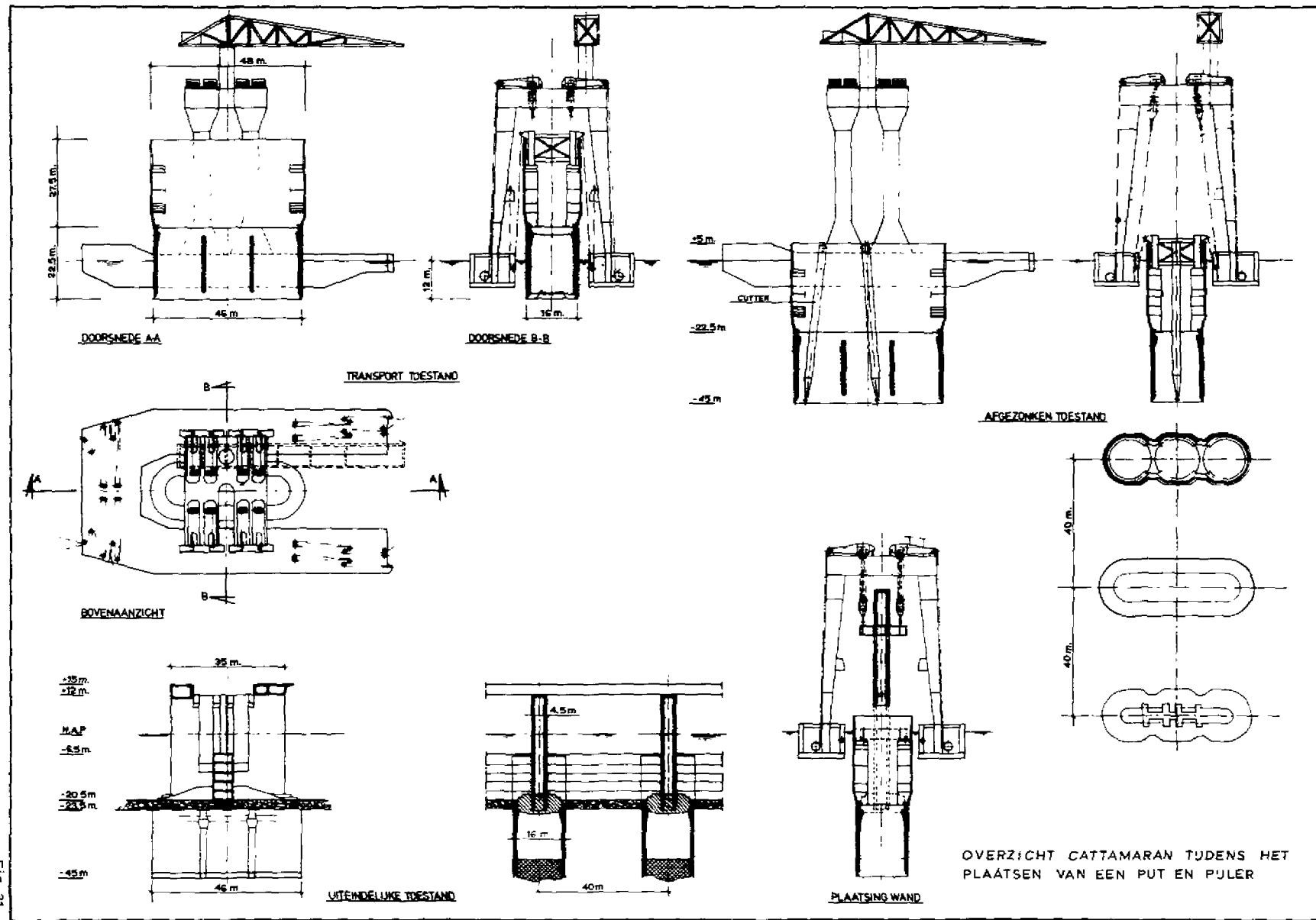


Fig. 31

## 6.8. DE AFSLUITMIDDELEN

### 6.8.1. De schuiven

Het onderzoek naar de schuiven heeft zich geconcentreerd op drie hoofdtypen. Van deze drie typen is een ontwerp gemaakt, met bijbehorende kostenbegroting. Elk type kan zowel gebruikt worden in een stormvloedkering die bestaat uit caissons, als in een kering met pijlers.

De drie hoofdtypen zijn:

#### a. Roosterschuiven

Een roosterschuif bestaat uit een vast en een beweegbaar rooster. Het beweegbare rooster hangt vóór het vaste rooster. In geopende toestand liggen de openingen en de dichte gedeelten van de beide roosters precies achter elkaar.

Om de constructie te sluiten wordt het beweegbare rooster over een kleine afstand verschoven, zodat alle dichte gedeelten ervan de openingen van het vaste rooster nu afsluiten.

Roosterschuiven leveren door hun vorm een goede afvoer- en stroomverdeling op. Een belangrijk voordeel is verder het feit dat voor het openen of sluiten van de schuiven slechts een kleine verticale verplaatsing, ter grootte van de hoogte van één roosterbalk nodig is. Roosterschuiven zijn alleen toepasbaar bij beperkte overspanningen.

#### b. Hefschuiven

Een hefschuif kan worden opgebouwd uit een raamwerk van horizontale en verticale staven, waartegen aan één of beide zijden beplating wordt aangebracht.

De hefschuiven glijden in sponningen; ze kunnen in staal en in beton worden uitgevoerd.

#### c. Tolkleppen

Dit zijn een aantal naast elkaar geplaatste kleppen die draaien om verticale assen in een verticaal geplaatst raamwerk.

In figuur 32 zijn voorgaande schuiftypen schematisch weergegeven.

Tot een tweede groep afsluitmiddelen, die minder uitvoerig in studie zijn genomen, aangezien ze bij de voorselectie als on-

gunstiger afvielen, behoren:

- a. Hefschuiven met loopwielen en afdrukinrichtingen
- b. Draaikleppen draaiend om een horizontale as
- c. Segmentschuiven van het Haringvliettype, voor een stormvloedkering met grote overspanningen
- d. Pontonschuiven, te vergelijken met segmentschuiven, maar geringere bewegingskrachten vragend.

Volledigheidshalve noemen we ook een derde groep van mogelijkheden, die slechts globaal werden beschouwd, omdat ze nauwelijks aanwijsbare voordelen hadden.

Dit waren:

- a. Drijvende hefschuiven in verscheidene vormen
- b. Gelede hefschuiven of rolluiken, die in geopende stand in ruimten onder de verkeersweg opgeborgen worden
- c. Roldeuren draaiend om een verticale as.

#### 6.8.2. De bewegingswerken

De bewegingswerken die in studie zijn genomen, werden in hoofdzaak gekozen vanwege hun toepasbaarheid bij de drie hoofdtypen schuiven. Voor roosterschuiven en tolkleppen leek een hydraulisch bewegingswerk met korte slag de beste aandrijving.

Voor hefschuiven leek daarentegen een hydraulisch bewegingswerk met lange slag het meest aangewezen of een hydraulisch bewegingswerk met korte slag dat intermitterend werkt en waaraan een blokkeersysteem is verbonden.

#### 6.8.3. De energievoorziening

Voor de energievoorziening komen verscheidene systemen in aanmerking, te weten:

- a. Hoogspanningsvoeding door derden, gepaard gaande met een eigen noodvoorziening van voldoende capaciteit
- b. Hoogspanningsvoeding vanuit een centraal voedingspunt in het eigen bedrijf
- c. Laagspanningsvoeding uit eigen bedrijf, waarbij de benodigde electriciteit met behulp van dieselaggregaten wordt opgewekt ter plaatse van de afsluitmiddelen.

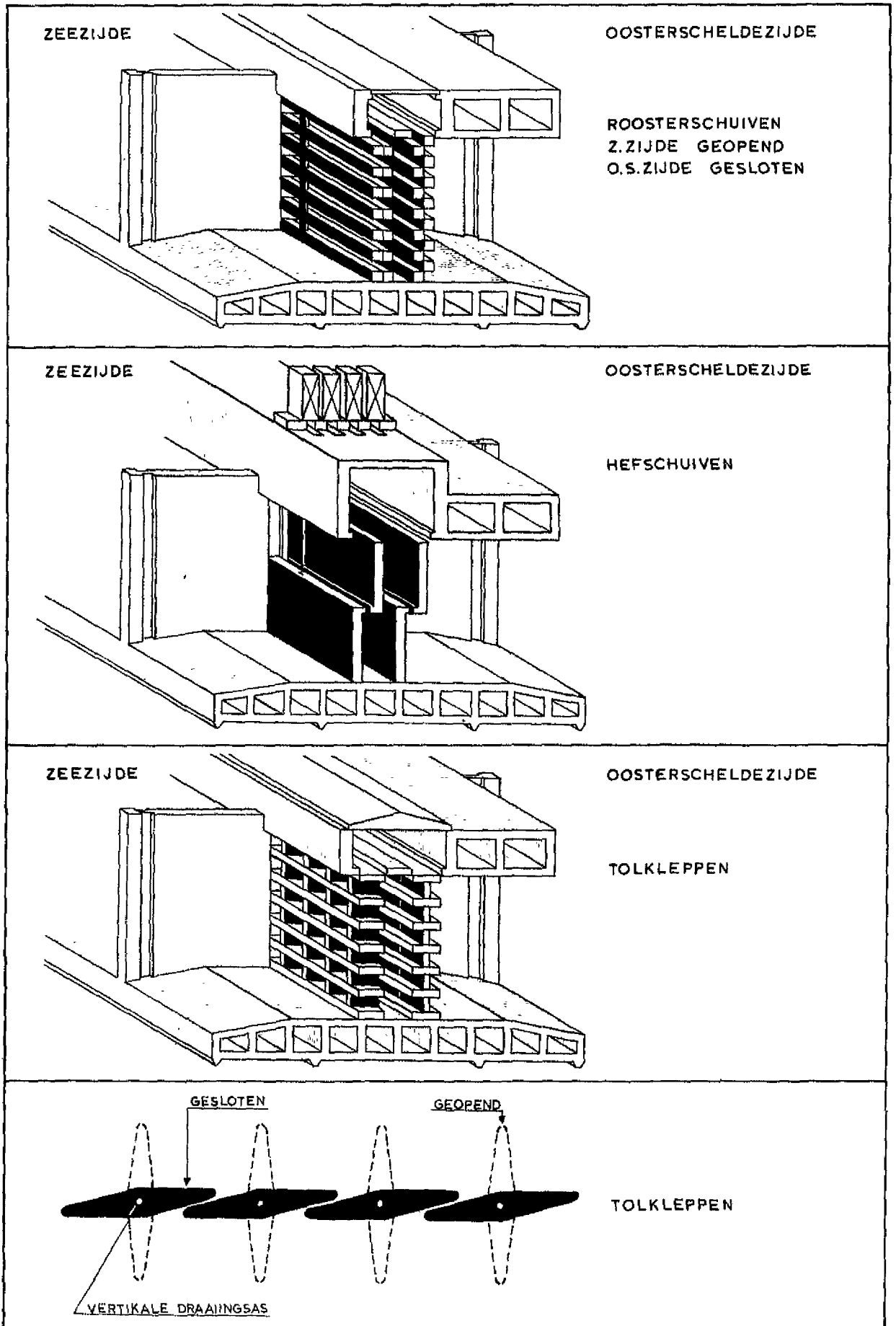


Fig. 32

#### 6.8.4. Onderzoek

Aangaande de nog onbekende eigenschappen van roosterschui-  
venschuiven en tolkleppen werd modelonderzoek verricht.

##### Roosterschuiven

Een uitvoerig onderzoek naar de eigenschappen van roosterschui-  
ven werd ingesteld door het Waterloopkundig Laboratorium in sa-  
menwerking met het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium  
en het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation.

De proeven hebben aangetoond dat met volledig geopende schuiven  
een goede afvoer verkregen kan worden.

Reeds geringe aangroei van zoutwaterorganismen heeft echter een  
sterk negatieve invloed op de afvoercoëfficiënt.

Onderzoek naar de belastingen heeft aangetoond dat in stromend  
water grotere krachten op elk afzonderlijk rooster ontstaan  
dan oorspronkelijk was voorzien.

De zuigkrachten die tijdens het bewegen op de schuif als geheel  
worden uitgeoefend blijken daarentegen kleiner te zijn dan was  
geschat.

Uit proeven ter bepaling van de trillingsgevoeligheid van roos-  
terschuiven blijkt dat men dienaangaande goede resultaten kan  
verkrijgen door de roosters onderling te koppelen. Deze resul-  
taten zouden nog bevestigd moeten worden door een proef op gro-  
te schaal.

##### Hefschuiven

Onderzocht werd of het ook mogelijk was de hefschuiven in  
plaats van in staal in beton uit te voeren. De zuigkrachten  
op de betonnen schuiven blijken niet groot te zijn.

Tijdens de proeven kwam naar voren dat de vormgeving van de  
caissons aanleiding kan zijn tot trillingen van de gehele  
schuif. Eenvoudige wijzigingen in de vormgeving van de schui-  
ven lijken echter voldoende om deze trillingen te voorkomen.  
Een hefschuif die aan de zee-zijde glad is zal weinig gevoelig  
zijn voor golfklappen.

##### Tolkleppen

Literatuurstudie gaf reeds de indruk dat de tolklep door zijn

vorm zeer gevoelig zou zijn voor belastingen tijdens openen of sluiten. Uit oriënterend modelonderzoek bleek dat de constructie zo zwaar zou moeten worden uitgevoerd dat ze uit een oogpunt van kosten onaantrekkelijk werd.

De studie naar dit type is dan ook gestaakt.

#### 6.8.5. Selectie

Uit analyse van de studieresultaten en een kostenvergelijking kwamen hefschuiven als de meest aantrekkelijke constructie naar voren, in fig. 23 is de hefschuif in de pijleroplossing schematisch aangegeven.

Roosterschuiven hebben als groot bezwaar dat de afvoercoëfficiënt zo gevoelig is voor aangroei van organismen.

Bovendien lenen deze schuiven zich minder voor grote overspanningen zoals ze zullen voorkomen in een stormvloedkering met pijlers op putten. Ook zijn ze minder geschikt voor afvoerprofielen groter dan  $11.500 \text{ m}^2$ .

Tolkleppen bleken een duur en kwetsbaar alternatief.

Voor de aandrijving is de keuze gevallen op een hydraulisch bewegingswerk met lange slag, vooral omdat dit systeem aanzienlijk bedrijfszekerder is dan een hydraulisch bewegingswerk met korte slag, dat intermitterend werkt en waaraan een blokkensysteem is verbonden.

Om de wrijvingsweerstand bij het sluiten of openen van de schuiven te verminderen zijn voor de hefschuiven van grote overspanningen schuifgeleidingen in de sponningen voorzien. Deze geleidingen zullen worden uitgevoerd in corrosiebestendig, slijtvast, vervangbaar en aangroeiwerend materiaal.

De bewegingswerken krijgen hun energie van een laagspanningsvoeding uit eigen bedrijf. De elektrische installaties kunnen dan eenvoudig zijn, wat met name van belang is bij de bouw van een stormvloedkering met pijlers op putten.

Bouwt men de kering van caissons, dan kan in elke caisson al voordat hij wordt afgevoerd naar zijn bestemming, een eigen stroomvoorziening worden ingebouwd.



De stormvloedkering zal daardoor spoedig na het plaatsen van de laatste caisson bedrijfsklaar kunnen zijn.

Ook de hefschuiven kunnen al in de bouwputten gemonteerd worden op de caissons. Een gevoeligheidsstudie heeft aangetoond, dat noch voor de hefschuif, noch voor het bewegingswerk tot een ander type constructie behoeft te worden overgegaan, indien de belastingen groter zouden blijken te zijn dan thans wordt aangenomen. De energievoorziening van de bewegingswerken is van voldoende vermogen om de schuiven onder de ongunstige condities van verval en golven in beweging te zetten.

## 6.9. ENKELE OF DUBBELE KERING

### 6.9.1. Inleiding

De functie van de stormvloedkering bestaat in de beveiliging van het achtergelegen gebied tegen extreme waterstanden.

Om aan die eis te voldoen moet de constructie onder die omstandigheden te allen tijde stabiel en gesloten zijn.

Alleen al op grond van statistische overwegingen kan dit niet worden gegarandeerd.

Elke constructie heeft een bepaalde faalkans.

Het is mogelijk die kans te minimaliseren of de gevolgen beperkt te houden; het is fundamenteel onmogelijk de faalkans tot nul te reduceren.

Bij het ontwerp was het aanvankelijk een vast uitgangspunt dat de stormvloedkering voorzien zou moeten worden van een dubbel stel schuiven. Dat komt daardoor dat in alle stroomsluizen, waaronder Haringvlietsluizen, een dubbel stel schuiven zit.

Ook de stormvloedkering in de Hollandse IJssel krijgt - zij het dan na 20 jaar - een tweede schuif. De situatie ligt bij de stormvloedkering in de Oosterschelde echter geheel anders.

En die deed de vraag rijzen of een dubbele kering daar wel nodig is. Met de schuiven van stroomsluizen wordt vrijwel dagelijks gemanipuleerd. Twee stel schuiven heeft men daarbij vooral nodig om lozingsprogramma's en dergelijke bedrijfszeker te kunnen uitvoeren. De kering in de Oosterschelde zal hooguit

enkele malen per jaar gebruikt moeten worden.

Als de ene schuif waaruit de kering in de Hollandse IJssel bestaat niet dicht kan, blijft het achterland volledig onbeschermd. In de Oosterschelde bedraagt het aantal schuiven voor een stormvloedkering met pijlers ongeveer 80; bij de caissonoplossing is dit aantal zelfs het dubbele.

Wanneer één of enkele van die schuiven openstaan zal de waterstand op het bekken daardoor slechts weinig stijgen.

Het meeste gevaar loopt de kering zelf wanneer één schuif blijft openstaan, met name omdat de stortebedden en de drempel lokaal zwaar aangevallen worden. Dit stabiliteitsprobleem lijkt echter oplosbaar, zodat het de moeite waard is, het toepassen van een enkel stel schuiven serieus te overwegen.

#### 6.9.2. Oorzaken van weigeringen

Elke schuif wordt aangedreven door twee dubbelwerkende hydraulische cylinders. Deze twee cylinders worden gevoed door een pomp, die wordt aangedreven door een draaistroommotor.

De benodigde electriciteit zal naar men voorlopig aanneemt worden opgewekt door een dieselgeneratorset per drie schuiven. Dit zijn betrekkelijk kleine eenheden, die met een accu op afstand gestart kunnen worden.

Vanuit een centraal bedienings- en bewakingscentrum, dat over een eigen energiebron beschikt, worden de standen van alle schuiven signaleerd en geregeld.

Bij storing in de centrale bediening is er bij elke schuif een elektrisch schakelpaneel, waarmee de schuifbeweging volledig gestuurd kan worden. Deze panelen zijn ook bij storm bereikbaar.

Bij storing in een schakelpaneel of in een hydraulische besturingseenheid kan overgeschakeld worden op een naburig schakelpaneel en besturingseenheid.

Bij storing in een dieselgenerator kan, zonodig op afstand, overgeschakeld worden op een naburige eenheid. De schuiven zullen dan na elkaar moeten bewegen.

Het is ook mogelijk een aantal dieselgeneratoren parallel te schakelen, waardoor het geleverde vermogen per schuif slechts

weinig minder zal zijn dan zonder storing.

Geen van de tot nu toe genoemde storingsbronnen heeft tot gevolg dat er een schuif blijft openstaan; ze vertragen de sluiting alleen maar.

Een analyse van alle mogelijke storingsoorzaken zal een bijdrage moeten leveren tot de uiteindelijke keuze van de sluitingsduur en het totaal te installeren vermogen.

Storingen die men tijdens een storm niet kan opheffen kunnen wel tot gevolg hebben dat er een schuif blijft openstaan, een storing bijvoorbeeld in de hydraulische cylinders zelf, of de blokkering van een schuifspinning.

(Door een zijgeleiding aan de schuif bestaat er geen gevaar voor vastlopen van de schuif als gevolg van schranken)

Met hydraulische cylinders bestaat zeer veel praktische ervaring. De kans op storing blijkt daarbij uiterst gering.

Bij een stormvloedkering met een doorstroomprofiel van 20.000 m<sup>2</sup> heeft men voor de diepe delen een ander bewegingswerktuig nodig. Met dit systeem bestaat minder ervaring.

De kans op obstakels in de sponningen tijdens een storm is, gelet op de hoge snelheden in de kering, ook uiterst klein.

Op de aanwezigheid van schelpdieren en dergelijke in de sponningen wordt bij de dimensionering van schuiven en bewegingswerken gerekend.

Blokkering van een opening door een groot obstakel kan met een dubbel stel schuiven niet worden bestreden.

Ter verhoging van de bedrijfszekerheid zullen, naast het vereiste onderhoud, alle schuiven maandelijks eenmaal bewogen worden, teneinde van een goede werking zoveel mogelijk verzekerd te zijn.

Schraapconstructies aan de schuiven zullen bij die gelegenheden de sponningen vrijmaken van aangroei.

### 6.9.3. Gevolgen van het weigeren van één of meer schuiven

#### Gevolgen voor de kering

Als een schuif openstaat verloopt de waterstand in het compartiment van die opening anders dan in de naastgelegen compartimenten. Hierdoor ontstaat er een dwarsverval over de wanden.

Het verloop van de waterstand, en daarmee de grootte van het verval, hangt af van de geometrie van de constructie.

Het gevaar bestaat dat de schuiven in trilling geraken als gevolg van grote snelheden langs de onder- en zijkant.

Bij de dimensionering van de wanden en schuiven wordt op deze vormen van belasting gerekend.

In een stormvloedkering met pijlers kunnen onder bepaalde omstandigheden zelfs gevaarlijke situaties optreden als gevolg van de aanwezigheid van een dubbele schuif.

Wanneer de voorste schuif gesloten is, terwijl de achterste blijft hangen, breken de golven over de eerste schuif.

Dit veroorzaakt klappen op de tweede schuif. De grootte van die klappen is nog niet goed onderzocht. Bij een enkele kering bestaat dit gevaar uiteraard niet.

#### Gevolgen voor de drempel en de stortebedden

Uit modelonderzoek blijkt dat de geconcentreerde stroom- en golfaanval die gepaard gaat met weigeren van een schuif bij een stormvloedkering met een doorstroomprofiel van ca. 11.500 m<sup>2</sup> opgevangen kan worden met zware blokken en stenen; plaatselijk is ook toepassing van steenasfalt noodzakelijk.

Voor een stormvloedkering met 20.000 m<sup>2</sup> profiel is het onderzoek hiernaar nog niet voltooid.

Bij dit grotere profiel kunnen moeilijkheden ontstaan met de stabiliteit van de aanstortingen tegen de betonnen schotbalken. De vrijheid die de schotbalken en de drempel moeten hebben om ten opzichte van elkaar te vervormen, maakt inbedding in steenasfalt onmogelijk. Bovendien moet de drempel ter plaatse van de schotbalken poreus zijn, om grote overdrukken onder de steenasfalt-deklaag van de drempel te voorkomen. Nog zwaardere betonblokken of geprefabriceerde poreuze elementen zouden hier een oplossing kunnen bieden.

Hoe zulke zware elementen op hun plaats moeten worden gebracht, is nog niet geheel duidelijk.

#### Gevolgen voor de ontgrondingen

Een openstaande schuif zal gedurende een storm aan de rand van

de bodembescherming extra ontgrondingen veroorzaken. Een oriënterend onderzoek duidt erop dat de extra ontgronding enkele meters zal bedragen.

#### Gevolgen voor het bekken

Door een schuif die blijft openstaan zal de waterstand op het bekken tijdens een storm langzaam stijgen. Als de stormvloedkering gesloten is bij het bereiken van het grenspeil buiten, dan kan de waterstand op het bekken ter plaatse van de kering bij een langzaam stijgende, extreem langdurende stormvloed, waarbij buiten het ontwerppeil bereikt wordt oplopen tot ca. N.A.P. +2 m. Bij een andere eveneens geconstrueerde, extreem langzaam stijgende stormvloed, die echter korter duurt en die ook het ontwerppeil bereikt, is berekend dat het bekken zich, inclusief lekverliezen, vullen kan tot ca. N.A.P. +3 m. Deze getallen gelden voor een doorstroomprofiel van 20.000 m<sup>2</sup>. Het laatste geval is maatgevend.

Doordat de kans op storing voor elke schuif onafhankelijk is van wat er met de andere schuiven gebeurt, is de kans op bijvoorbeeld 3 open schuiven bij een enkel stel afsluitmiddelen zeer gering. De waterstand op het bekken ter plaatse van de kering zal in dat geval bij een langdurende, maatgevende storm maximaal oplopen tot ca. N.A.P. +3,2 à 3,3 m.

Deze waterstand levert geen gevaar op voor de dijken. De kans op de combinatie van bijvoorbeeld 3 open schuiven, samen met een langdurende storm, waarbij buiten het ontwerppeil bereikt wordt, en waarbij de kering bovendien pas bij een hoge bekkenstand gesloten wordt, wordt overigens verwaarloosbaar klein geacht in vergelijking zelfs met de kansen die bij de vaststelling van de Deltanorm ( zie 3.1.) werden gehanteerd.

Temeer daar het onwaarschijnlijk is dat men bij een zo langzaam rijzende stormvloed werkeloos zou toezien tot het grenspeil bereikt werd.

Een stormvloedkering met een doorstroomprofiel van ca. 10.000 m<sup>2</sup>

kan derhalve van een enkel stel schuiven voorzien worden, zonder dat de beoogde veiligheid in het gedrang komt.

Voor het ontwerp met een profiel van 20.000 m<sup>2</sup> zal dit nog

nader onderzocht moeten worden.

De toepassing van één stel afsluitmiddelen verhindert niet dat de kering op eenvoudige wijze kan worden uitgerust met een dubbel stel sponningen.

Als dus op een later tijdstip de inzichten zich zouden wijzigen, kan alsnog een tweede stel schuiven aangebracht worden.

## Hoofdstuk 7

### KOSTEN EN WERKSCHEMA'S

#### 7.1. BEGROTING VAN KOSTEN

##### 7.1.1. Uitgangspunten voor de begroting

Binnen de kostenramingen voor de drie ontwerpen zijn de volgende hoofdgroepen te onderscheiden: natte werken, plaatsen van caissons, putten en pijlers, staalwerken, betonwerken, drijf- en transportmiddelen en diversen. In de prijsopbouw zijn begrepen de kosten voor materiaal-aankoop en verwerking, verliezen, hulpwerken, uitvoeringskosten alsmede toeslagen voor algemene kosten, winst, B.T.W., verzekeringen, alsmede overhead.

De geraamde kosten zijn begroot op basis van het prijspeil van eind 1975.

In de post diversen zijn de kosten opgenomen van de in 1974 en 1975 uitgevoerde werken, alsmede de kosten verbonden aan reeds uitgevoerde en nog uit te voeren studies en onderzoekingen ten behoeve van de stormvloedkering.

Verder is opgevoerd een post 'onvoorzien'.

Deze post wordt noodzakelijk geacht om de volgende redenen:

- circa 25% van de uitvoeringskosten heeft betrekking op tot nog toe niet of nauwelijks toegepaste technieken;
- onzekerheid bestaat ten aanzien van enkele randvoorwaarden. Uit een zeer globale analyse zou mogen worden afgeleid dat de kostenbegroting niet erg gevoelig is voor variaties in de randvoorwaarden;
- het ontwerp draagt nog het karakter van een voorontwerp. Bij nadere detaillering zijn tegenvallers derhalve niet uitgesloten. Anderzijds zijn noch het ontwerp, noch de uitvoeringswijze ten volle geoptimaliseerd. Er kunnen dan ook nog besparingen worden verwacht in bepaalde posten.

Bij de kostenbegroting voor de caissons op staal en op putten is er vanuit gegaan dat de werkweg op N.A.P. + 7 m

zo kan worden aangepast, dat hij als verkeersweg gebruikt kan worden. Gedurende ongeveer tien dagen per jaar zal deze weg voor het verkeer gesloten moeten worden in verband met onderhoudswerkzaamheden aan de schuiven; en daarnaast incidenteel door weersomstandigheden.

De kostenbegrotingen van de schuiven met bewegingswerken gaan voor alle drie de ontwerpen met  $11.500 \text{ m}^2$  doorstroomprofiel uit van stalen hefschuiven en van bewegingswerktuigen met zogenaamde laag geplaatste cardanhuizen. Bedraagt het doorstroomprofiel  $20.000 \text{ m}^2$ , dan zal een deel van de schuiven intermitterend worden bewogen.

De totale kosten van een schutsluis bedragen  $54$  miljoen gulden. Van dit bedrag is een post van  $18$  miljoen gulden opgenomen in de kostenraming.

Dit bedrag komt overeen met de extra kosten die met de werkzaamheden aan de kering gemoeid zouden zijn, als men ter plaatse niet over een schutsluis zou kunnen beschikken.

#### 7.1.2. Uitgevoerde werken en gedane uitgaven

Reeds in een vroeg stadium van de studie is een aanvang gemaakt met het opzetten van werkplanningen voor de eventueel te bouwen stormvloedkering. Hoewel toen nog geen gedegen voorontwerp voorhanden was, bestond wel enig inzicht in de dimensionering van het kunstwerk als geheel en in de meest relevante uitvoeringsaspecten. De op basis daarvan gemaakte planningen gaven aan dat de realisering van de bouwputten voor de caissons de kritieke handeling was in het werkschema.

Langer uitstel van de aanleg van de bouwputten zou hebben ingehouden dat de kering onmogelijk nog in 1985 gereed kon komen, wat als één van de ontbindende voorwaarden voor de bouw van de stormvloedkering geldt.

De bouwputten zijn gesitueerd aan de oostzijde van en aansluitend op het in de Oosterschelde al eerder aangelegde damvak Geul.

Met de uitvoering van de bouwdokken is medio '75 een aan-



vang gemaakt. De eerste fase van de werken, te weten het maken van de ringdijken en het op diepte brengen van de bodem tot gemiddeld N.A.P. -15 m is nagenoeg voltooid. De bouwdokken kunnen zowel voor de bouw van caissons als voor de bouw van putten en pijlers worden gebruikt.

Naast deze werken is tevens reeds in de studieperiode een damaanzet tegen Schouwen gemaakt, ter plaatse van de aansluiting van de stormvloedkering aan de vaste wal. Deze damaanzet past bij elk plan van afsluiting van de Oosterschelde.

Tot slot is gedurende de studieperiode voortgegaan met het aanbrengen van de bodembescherming, die zowel in het oude als in het nieuwe plan past. Tevens is over een klein deel van het lengteprofiel een begin gemaakt met het aanbrengen van fosfor-slakken als basis van de drempel.

De kosten van het totaal der werkzaamheden in 1974 en 1975 - waaronder ook studies in verband met de stormvloedkering - is aangegeven in de volgende tabel:

Uitgaven ten behoeve van Oosterscheldewerken in miljoenen gul-  
dens, inclusief B.T.W.

| Jaar | Uitgaven<br>t.b.v.<br>werken<br>passend<br>in oude<br>plan | Uitgaven<br>t.b.v.<br>werken<br>passend<br>in oude<br>en nieuwe<br>plan | Uitgaven<br>t.b.v.<br>werken<br>passend<br>in nieuwe<br>plan | Uitgaven<br>t.b.v.<br>ontwerp<br>en prak-<br>tijk on-<br>derzoek<br>t.b.v.<br>nieuwe<br>plan | Uitgaven<br>water-<br>loopkun-<br>dig en<br>grond-<br>mech.on-<br>derzoek<br>t.b.v. |              | Lopende<br>verplich-<br>tingen<br>t.b.v.<br>nieuwe<br>plan |
|------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------|
|      |                                                            |                                                                         |                                                              |                                                                                              | oude<br>plan                                                                        | nwe.<br>plan |                                                            |
|      | a                                                          | b                                                                       | c                                                            | d                                                                                            | e                                                                                   | f            | g                                                          |
| 1974 | 11                                                         | 55                                                                      |                                                              | 3                                                                                            | 8                                                                                   | 2            |                                                            |
| 1975 | 1                                                          | 48                                                                      | 33                                                           | 14                                                                                           | 6                                                                                   | 27           |                                                            |
| 1976 |                                                            |                                                                         |                                                              |                                                                                              |                                                                                     |              | 15                                                         |

Totaal der kosten: 1-1-1974 - medio 1976 uitsluitend t.b.v. nieuwe plan (zie kolommen c, d, f en g) : ca. f 95 miljoen (geïndexeerd naar prijspeil 31-12-'75, ca. f 100 mln).

Kosten onderzoek uitsluitend t.b.v. oude plan (zie kolom e) ca. f 15 miljoen.

7.1.3. Kostenopstellingen(inclusief onvoorzien en B.T.W.)

Caissons gefundeerd op staal

Effectief doorstroomprofiel  $11.500 \text{ m}^2 + 1.300 \text{ m}^2$  reserve  
(tabel I). Totale ~~kosten~~ f 2.970.000.000.- met enkele kering,  
f 3.360.000.000.- met dubbele kering.

Effectief doorstroomprofiel  $20.000 \text{ m}^2$ .

Totale kosten ca. f 3.300.000.000.- met enkele kering,  
f 3.860.000.000.- met dubbele kering.

In deze kostenramingen is niet voorzien in de additionele kosten die een gevolg zijn van het aanzandingsbezwaar.

Pijlers gefundeerd op betonnen putten

Effectief doorstroomprofiel  $11.500 \text{ m}^2 + 1.300 \text{ m}^2$  reserve  
(tabel II). Totale kosten f 2.910.000.000.- met enkele kering,  
f 3.410.000.000.- met dubbele kering.

Effectief doorstroomprofiel  $20.000 \text{ m}^2$ .

Totale kosten f 3.170.000.000.- met enkele kering,  
f 3.790.000.000.- met dubbele kering.

Caissons gefundeerd op betonnen putten en palen

Effectief doorstroomprofiel  $11.500 \text{ m}^2 + 1.300 \text{ m}^2$  reserve  
(tabel III). Totale kosten f 3.470.000.000.- met enkele kering,  
f 3.850.000.000.- met dubbele kering.

Effectief doorstroomprofiel  $20.000 \text{ m}^2$ .

Totale kosten f 3.710.000.000.- met enkele kering,  
f 4.210.000.000.- met dubbele kering.

7.1.4. Financieel overzicht

De regeringsbeslissing van november 1974 stelt de uitvoering van de stormvloedkering onder meer afhankelijk van de meer-kosten van dit plan ten opzichte van de kosten van het oude plan van afsluiting van de Oosterschelde, een en ander met eventueel bijkomende werken.

Onder de meerkosten werden de kosten begrepen van de primaire kering en van de compartimenteringswerken inclusief voorzieningen ten behoeve van de scheepvaart en inclusief de verruiming van het Kanaal door Zuid-Beveland.

In tabel IV is een overzicht gegeven van de kosten die gemoeid zullen zijn met de uitvoering van een stormvloedkeringsplan dan wel van het oorspronkelijke plan van afsluiting van de Oosterschelde.

Ter toelichting zij vermeld dat, ten behoeve van een juiste vergelijking, de gedane uitgaven zijn geïndexeerd naar prijspeil 31-12-1975. Ook de kosten van de compartimenteringswerken zoals genoemd in het rapport van de Commissie Compartimentering Oosterschelde zijn gebracht naar dit prijspeil. De hierbij gehanteerde indexcijfers bedragen voor 1974 en 1975 respectievelijk 12% en 9%.

## 7.2. WERKSCHEMA'S

De in dit rapport beschreven ontwerpen hebben het karakter van voorontwerpen. Dit houdt in dat als de beslissing ten aanzien van de stormvloedkering positief uitvalt, niet onmiddellijk met de uitvoering kan worden begonnen.

Met nader onderzoek, detaillering en het bestekklaar maken van de op het kritieke pad liggende werkonderdelen is 6 à 9 maanden gemoeid. De nieuwbouw van het materieel en de uitvoering van de ontwerpen voor de stormvloedkering kan op zijn vroegst begin 1977 aanvangen. Hierbij is verondersteld dat de beslissing omtrent de bouw van de stormvloedkering voor augustus 1976 zal zijn genomen.

Om dezelfde redenen als waarom in de planning een aanloopperiode is opgenomen, is ook een reserve voor uitloop van een half à een jaar ingecalculeerd.

### 7.2.1. Caissons gefundeerd op staal(fig.33)

Uit het werkschema blijkt dat de caissons pas in 1985 geplaatst kunnen worden. De kering kan dan pas eind 1986 gereed zijn. Dit geldt voor toepassing van zowel een enkele als een dubbele kering.

Daarbij wordt verondersteld dat de natte werkzaamheden kunnen aanvangen op 1 april 1977, en dat bij een twee-ploegen-systeem per week 88 werkuren kunnen worden gehaald. Voor de natte werken ontstaat daardoor een reserve van 9 maanden vlak voor het plaatsen van de caissons in 1985. Ook de bouw van het verdichtingsschip dient uiterlijk op 1 april 1977 aan te vangen.

Bij de opzet van het schema is geen rekening gehouden met de problemen die de aanzanding veroorzaakt.

Een uitloop van 1 à 2 jaar op het gepresenteerde werkschema ten gevolge van deze problematiek behoort tot de mogelijkheden. Dan kan de kering eerst in 1987 of 1988 gereed zijn.

In de betonwerken en de staal- en bewegingswerken zit bij 40 werkuren per week een speling van minimaal 9 maanden.

De oplossing met een nuttig doorstroomprofiel van  $20.000 \text{ m}^2$  kan uitgevoerd worden volgens hetzelfde tijdschema indien extra materieel bij het uitvoeren van de bodembescherming wordt ingezet.

#### 7.2.2. Pijlers gefundeerd op putten(fig.34)

In het werkschema is er vanuit gegaan dat de putten en pijlers worden geplaatst tussen 1 januari 1979 en 1 maart 1984. Voor wat betreft de natte werken geldt ten aanzien van aanvang en capaciteit hetzelfde als bij de caissons gefundeerd op staal.

De bouw van de Catamaran blijkt op het kritieke pad te liggen. Om op 1 januari 1979 met het plaatsen van putten en pijlers te kunnen beginnen dient de bouw van de Catamaran op uiterlijk 1 mei 1977 te beginnen.

Ook het plaatsen van putten en pijlers en de aanvang van de natte werken liggen op het kritieke pad van de uitvoering. Met de bouw van het verdichtingsschip moet op 1 januari 1977 worden aangevangen.

Voor de staal- en bewegingswerken is voldoende speling aanwezig, uitgaande van de normale dagproduktie en 40 werkuren per week.

Met deze uitgangspunten blijken de werken in het voorjaar van 1985 gereed te kunnen zijn zowel met enkele als met dub-

bele kering. In dat jaar is dus een uitlooperperiode van ca. 9 maanden beschikbaar. Bij een nuttig doorstroomprofiel van  $20.000 \text{ m}^2$  geldt dit evenzeer indien extra materieel voor het uitvoeren van de bodembescherming wordt ingezet.

7.2.3. Caissons gefundeerd op putten(fig.35)

Verondersteld wordt dat de putten worden geplaatst met behulp van een Catamaran. Voor het plaatsen van de palen zal een afzonderlijke plaatsingseenheid worden ingezet, hetzij een drijvende bok, hetzij een tweede Catamaran. Om op 1 januari 1979 met het plaatsen van de putten te kunnen beginnen, dient de bouw van de Catamaran op 1 mei 1977 aan te vangen. De tweede plaatsingseenheid dient omstreeks 1980 bedrijfsge-reed te zijn.

Zoals in het werkschema is te zien ligt het plaatsen van de putten op het kritieke pad, evenals de natte werkzaamheden. Er wordt op gerekend dat de natte werkzaamheden op 1 april 1977 kunnen aanvangen en dat alle belangrijke werkzaamheden in een dubbele ploegendienst zullen worden uitgevoerd. De bouw van het verdichtingsschip dient uiterlijk 1 januari 1977 aan te vangen.

Voor de betonwerken en het staalwerk kan gerekend worden met normale produkties, dus zonder een meerploegensysteem. Volgens dit schema kunnen de caissons in 1984 geplaatst worden. De werken kunnen dan in 1985 bedrijfsge-reed zijn, ongeacht de vraag of er een enkele, dan wel een dubbele kering moet worden gemaakt.

Hetzelfde geldt bij een doorstroomprofiel van  $20.000 \text{ m}^2$  indien extra materieel bij het uitvoeren van de bodembescherming wordt ingezet.

In de natte werkzaamheden is echter totaal geen reserve aanwezig om complicaties in de uitvoering op te vangen. Met een uitloop van één jaar moet dan ook zeker rekening worden gehouden.

# E R R A T A

- - - - -

Op pagina 170, tabel I nr. 9, voor sluizen lezen :  
schuiven.

Op pagina 171, tabel II nr. 8, na fabricage lezen :  
putten en pijlers.

Tabel I

KOSTEN EN FINANCIËLE PLANNING - CAISSONS GEFUNDEERD OP STAAL ( $\mu A = 11.500 \text{ m}^2 + 1.300 \text{ m}^2 \text{ reserve}$ ) -

In mln. gld.; kosten vanaf 1-1-'74; prijspeil 31-12-'75

| Nr. | Kostenelementen                                                    | Kosten | Jaren | Kostenverdeling over jaren - enkele kering - | Opmerkingen                                                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------------|--------|-------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Verdichten ondergrond                                              | 120    | 1975  | 210                                          | De kosten van een eventuele 2e kering zullen ten laste komen van de jaren 1980 t/m 1986. |
| 2   | Pylonen trekken                                                    | 7      | 1976  | 70                                           |                                                                                          |
| 3   | Drempel                                                            | 239    | 1977  | 200                                          |                                                                                          |
| 4   | Bodembescherming                                                   | 300    | 1978  | 210                                          |                                                                                          |
| 5   | Landhoofden                                                        | 32     | 1979  | 330                                          |                                                                                          |
| 6   | Damaanzetten en buitenhavens                                       | 153    | 1980  | 330                                          |                                                                                          |
| 7   | Bouwputten fase I en fase II                                       | 135    | 1981  | 340                                          |                                                                                          |
| 8   | Plaatsen caissons                                                  | 183    | 1982  | 380                                          |                                                                                          |
| 9   | Sluizen, bewegingswerken en elektrische installaties enkele kering | 370    | 1983  | 390                                          |                                                                                          |
| 10  | Betonwerken caissons                                               | 605    | 1984  | 250                                          |                                                                                          |
| 11  | Reserve caissons                                                   | 23     | 1985  | 200                                          |                                                                                          |
| 12  | Verkeersweg                                                        | 12     | 1986  | 60                                           |                                                                                          |
| 13  | Voorzieningen t.b.v. scheepvaart                                   | 18     |       |                                              |                                                                                          |
| 14  | Drijfmiddelen                                                      | 178    |       |                                              |                                                                                          |
| 15  | Diversen (inclusief werken '74)                                    | 205    |       |                                              |                                                                                          |
| 16  | Extra onderzoek                                                    | 140    |       |                                              |                                                                                          |
|     |                                                                    | 2.720  |       |                                              |                                                                                          |
| 17  | Onvoorzien                                                         | 250    |       |                                              |                                                                                          |
|     | Totaal kosten met enkele kering                                    | 2.970  |       | 2.970                                        |                                                                                          |
| 18  | Kosten van tweede kering                                           | 390    |       |                                              |                                                                                          |
|     | Totaal kosten met dubbele kering                                   | 3.360  |       |                                              |                                                                                          |

Tabel II

| KOSTEN EN FINANCIËLE PLANNING - PIJLERS GEFUNDEERD OP PUTTEN ( $\mu A = 11.500 \text{ m}^2 + 1.300 \text{ m}^2 \text{ reserve}$ ) - |                                                       |              |       |                                              |                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------|-------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| In mln. gld.; kosten vanaf 1-1-'74; prijspeil 31-12-'75                                                                             |                                                       |              |       |                                              |                                                                                          |
| Nr                                                                                                                                  | Kostenelementen                                       | Kosten       | Jaren | Kostenverdeling over jaren - enkele kering - | Opmerkingen                                                                              |
| 1                                                                                                                                   | Verdichten ondergrond                                 | 100          | 1975  | 210                                          | De kosten van een eventuele 2e kering zullen ten laste komen van de jaren 1979 t/m 1985. |
| 2                                                                                                                                   | Pylonen trekken                                       | 7            |       |                                              |                                                                                          |
| 3                                                                                                                                   | Drempel                                               | 212          | 1976  | 50                                           |                                                                                          |
| 4                                                                                                                                   | Bodembescherming                                      | 268          |       |                                              |                                                                                          |
| 5                                                                                                                                   | Landhoofden                                           | 32           | 1977  | 360                                          |                                                                                          |
| 6                                                                                                                                   | Damaanzetten en buitenhavens                          | 137          |       |                                              |                                                                                          |
| 7                                                                                                                                   | Bouwputten fase I                                     | 29           | 1978  | 390                                          |                                                                                          |
| 8                                                                                                                                   | Werkterrein en installaties voor fabricage            | 159          | 1979  | 400                                          |                                                                                          |
| 9                                                                                                                                   | In situ opbouw putten en pijlers                      | 133          |       |                                              |                                                                                          |
| 10                                                                                                                                  | Schuiven, bewegingswerken en elektrische installaties | 393          | 1980  | 410                                          |                                                                                          |
| 11                                                                                                                                  | Prefabricage putten, pijlers en bovenbouw             | 460          | 1981  | 340                                          |                                                                                          |
| 12                                                                                                                                  | Reserve putten en pijlers                             | -            | 1982  | 280                                          |                                                                                          |
| 13                                                                                                                                  | Verkeersweg                                           | 5            |       |                                              |                                                                                          |
| 14                                                                                                                                  | Catamaran, kuipen en hulpmaterieel voor plaatsing     | 359          | 1983  | 260                                          |                                                                                          |
| 15                                                                                                                                  | Voorzieningen t.b.v. scheepvaart                      | 18           | 1984  | 180                                          |                                                                                          |
| 16                                                                                                                                  | Diversen (inclusief werken '74)                       | 205          |       |                                              |                                                                                          |
| 17                                                                                                                                  | Extra onderzoek                                       | 140          | 1985  | 30                                           |                                                                                          |
| 18                                                                                                                                  | Afronding                                             | 3            | 1986  | -                                            |                                                                                          |
| 19                                                                                                                                  | Onvoorzien                                            | 2.660<br>250 |       |                                              |                                                                                          |
|                                                                                                                                     | Totaal kosten met enkele kering                       | 2.910        |       | 2.910                                        |                                                                                          |
| 20                                                                                                                                  | Kosten van tweede kering                              | 500          |       |                                              |                                                                                          |
|                                                                                                                                     | Totaal kosten met dubbele kering                      | 3.410        |       |                                              |                                                                                          |



Tabel III

| KOSTEN EN FINANCIËLE PLANNING - CAISSONS GEFUNDEERD OP PUTTEN ( uA = 11.500 m <sup>2</sup> + 1.300 m <sup>2</sup> reserve) - |                                                       |        |       |                                              |                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------|-------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| In mln. gld.; kosten vanaf 1-1-'74; prijspeil 31-12-'75                                                                      |                                                       |        |       |                                              |                                                                                         |
| Nr                                                                                                                           | Kostenelementen                                       | Kosten | Jaren | Kostenverdeling over jaren - enkele kering - | Opmerkingen                                                                             |
| 1                                                                                                                            | Verdichten ondergrond                                 | 100    | 1975  | 210                                          | De kosten van een eventuele 2e kering zullen ten laste komen van de jaren 1979 t/m 1985 |
| 2                                                                                                                            | Pylonen trekken                                       | 7      |       |                                              |                                                                                         |
| 3                                                                                                                            | Drempel                                               | 238    | 1976  | 60                                           |                                                                                         |
| 4                                                                                                                            | Bodembescherming                                      | 486    |       |                                              |                                                                                         |
| 5                                                                                                                            | Landhoofden                                           | 39     | 1977  | 330                                          |                                                                                         |
| 6                                                                                                                            | Damaanzetten en buitenhavens                          | 130    |       |                                              |                                                                                         |
| 7                                                                                                                            | Bouwputten fase I en fase II                          | 131    | 1978  | 520                                          |                                                                                         |
| 8                                                                                                                            | Werkterreinen, putten en palen                        | 12     |       |                                              |                                                                                         |
| 9                                                                                                                            | Plaatsen caissons                                     | 127    | 1979  | 430                                          |                                                                                         |
| 10                                                                                                                           | Plaatsen putten en palen                              | 34     |       |                                              |                                                                                         |
| 11                                                                                                                           | Schuiven, bewegingswerken en elektrische installaties | 360    | 1980  | 480                                          |                                                                                         |
| 12                                                                                                                           | Betonwerken caissons, putten en palen                 | 652    | 1981  | 480                                          |                                                                                         |
| 13                                                                                                                           | Reserve caissons                                      | 12     | 1982  | 460                                          |                                                                                         |
| 14                                                                                                                           | Reserve putten en palen                               | -      |       |                                              |                                                                                         |
| 15                                                                                                                           | Verkeersweg                                           | 5      | 1983  | 260                                          |                                                                                         |
| 16                                                                                                                           | Voorzieningen t.b.v. scheepvaart                      | 18     |       |                                              |                                                                                         |
| 17                                                                                                                           | Drijfmiddelen                                         | 180    | 1984  | 190                                          |                                                                                         |
| 18                                                                                                                           | Catamaran                                             | 338    |       |                                              |                                                                                         |
| 19                                                                                                                           | Diversen (inclusief werken '74)                       | 205    | 1985  | 50                                           |                                                                                         |
| 20                                                                                                                           | Extra onderzoek                                       | 140    |       |                                              |                                                                                         |
| 21                                                                                                                           | Afronding                                             | 6      | 1986  | -                                            |                                                                                         |
|                                                                                                                              |                                                       | 3.220  |       |                                              |                                                                                         |
| 22                                                                                                                           | Onvoorzien                                            | 250    |       |                                              |                                                                                         |
|                                                                                                                              | Totaal kosten met enkele kering                       | 3.470  |       | 3.470                                        |                                                                                         |
| 23                                                                                                                           | Kosten van tweede kering                              | 380    |       |                                              |                                                                                         |
|                                                                                                                              | Totaal kosten met dubbele kering                      | 3.850  |       |                                              |                                                                                         |

Tabel IV

## FINANCIEEL OVERZICHT AFSLUITING OOSTERSCHELDE

In mln.gld.; kosten vanaf 1-1-'74; prijspeil 31-12-'75

| Stormvloedkering(Pijlers op putten; $\mu A = 11.500 \text{ m}^2$ )<br>en Compartimenteringsmodel C3 - Kanaal door Zuid-Beveland |       | Gesloten Oosterschelde en<br>Compartimenteringsmodel D4                                           |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| - Primaire kering                                                                                                               |       | - Primaire kering                                                                                 |      |
| 1. Stormvloedkering 1)                                                                                                          | 2.520 | 1. Afsluitdam                                                                                     | 795  |
| 2. Extra onderzoek                                                                                                              | 140   |                                                                                                   |      |
| 3. Onvoorzien                                                                                                                   | 250   |                                                                                                   |      |
| - Compartimenteringswerken 2)                                                                                                   |       | - Compartimenteringswerken                                                                        |      |
| 1. Compartimenteringsdammen                                                                                                     | 305   | 1. Compartimenteringsdammen                                                                       | 165  |
| 2. Omkading Markiezaat Bergen op Zoom                                                                                           | 45    | 2. Omkadingen(eventueel)                                                                          | p.m. |
| 3. Sluizen in compartimenteringsdammen                                                                                          | 340   | 3. Sluizen in compartimenteringsdammen                                                            | 120  |
| 4. Verruiming Kanaal door Zuid-Beveland 3)                                                                                      | 375   | 4. Verruiming Kanaal door Zuid-Beveland 1)                                                        | 470  |
| 5. Lozingsmiddel Zoommeer                                                                                                       | 110   | 5. Lozingsmiddel Zoommeer(begrepen in 4)                                                          |      |
| - Partiële dijksverhoging                                                                                                       |       | - Partiële dijksverhoging                                                                         |      |
| 1. Aanpassing dijken voor waterstand met<br>frequentie 1/500 per jaar.Totale kosten                                             | 180   | 1. Aanpassing dijken voor waterstand met<br>frequentie van 1/500 per jaar;werken<br>in '75 en '76 | 45   |
| - Kosten onderzoek '74 en '75 t.b.v. oude<br>plan(zie pag.165)                                                                  | 15    | - (Vergeefs)gedane uitgaven t.b.v.stormvloed-<br>kering(zie pag.165)                              | 100  |
| - Eventuele tweede kering 4)                                                                                                    | 500   | - Eventuele mosselverwaterplaats 2)                                                               | 120  |
| 1) Meerkosten bij $\mu A = 20.000 \text{ m}^2$ : f 260 mln.                                                                     |       | 1) Inclusief vervanging Vlaktebrug                                                                |      |
| 2) Uit Nota C.C.O.apr.'75(geïndexeerd met 9%)                                                                                   |       | 2) Alternatief t.b.v. behoud mosselverwater-<br>ring in Oosterschelde                             |      |
| 3) Inclusief vervanging Vlaktebrug                                                                                              |       |                                                                                                   |      |
| 4) Meerkosten bij $\mu A = 20.000 \text{ m}^2$ : f 380 mln.                                                                     |       |                                                                                                   |      |

PLANNING WERKEN - CAISSONS GEFUNDEERD OP STAAL -

| nr | Werkomschrijving                                                       | 1975 | 1976 | 1977    | 1978              | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984             | 1985                | 1986 | 1987 |
|----|------------------------------------------------------------------------|------|------|---------|-------------------|------|------|------|------|------|------------------|---------------------|------|------|
| 1  | Verdichten ondergrond                                                  |      |      | ONTWERP | BOUW EN BEPROEVEN |      |      |      |      |      | UITVOERING       |                     |      |      |
| 2  | Pylonen trekken                                                        |      |      |         |                   |      |      |      |      |      |                  |                     |      |      |
| 3  | Drempel                                                                |      |      |         |                   |      |      |      |      |      |                  |                     |      |      |
| 4  | Bodembescherming                                                       |      |      |         |                   |      |      |      |      |      | RESERVE          | AANSTORTEN CAISSONS |      |      |
| 5  | Landhoofden                                                            |      |      |         |                   |      |      |      |      |      | (INCL. PLAATSEN) |                     |      |      |
| 6  | Damaanzetten en buitenhavens                                           |      |      |         |                   |      |      |      |      |      | (SCHOUWEN)       |                     |      |      |
| 7  | Bouwputten fase I en fase II                                           |      |      |         |                   |      |      |      |      |      |                  |                     |      |      |
| 8  | Plaatsen caissons                                                      |      |      |         |                   |      |      |      |      |      |                  |                     |      |      |
| 9  | Schuiven, bewegingswerken en elektrische installaties (dubbele kering) |      |      |         |                   |      |      |      |      |      |                  |                     |      |      |
| 10 | Drijfmiddelen                                                          |      |      |         |                   |      |      |      |      |      |                  |                     |      |      |
| 11 | Betonwerk caissons                                                     |      |      |         |                   |      |      |      |      |      |                  |                     |      |      |
| 12 | Voorzieningen scheepvaart                                              |      |      |         |                   |      |      |      |      |      |                  |                     |      |      |
| 13 | Bedrijfsgeraad 1)                                                      |      |      |         |                   |      |      |      |      |      |                  |                     |      |      |

■ = KRITISCH

--- = UITLOOPMOGELIJKHEID c.q. EERDERE AANVANGSMOGLIJKHEID

1) Dit tijdstip kan ten gevolge van de aanzandingsproblematiek één à twee jaar later vallen.

PLANNING-WERKEN- PIJLERS GEFUNDEERD OP PUTTEN -

| nr | Werkomschrijving                                                                | 1975 | 1976 | 1977    | 1978             | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|------|------|---------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | Verdichten ondergrond randbodembe-<br>scherming                                 |      |      | ONTWERP | BOUW + BEPROEVEN |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2  | Pylonen trekken                                                                 |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3  | Drempel                                                                         |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4  | Boedembescherming                                                               |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5  | Damaanzetten en buitenhavens                                                    |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 6  | Bouwputten fase I                                                               |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 7  | Werkterrein putten, pijlers en dorpels                                          |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 8  | Plaatsen putten, pijlers en dorpels                                             |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 9  | Schuiven, bewegingswerken en elektr.<br>installaties (enkele en dubbele kering) |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 10 | Catamaran                                                                       |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 11 | Betonwerk putten, pijlers, bovenbouw<br>en dorpels (enk. en dubbele kering)     |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 12 | Voorzieningen scheepvaart                                                       |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 13 | Bedrijfsgereed                                                                  |      |      |         |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

■ = KRITISCH

--- = UITLOOPMOGELIJKHEID c q EERDERE AANVANGSMOGELIJKHEID

PLANNING WERKEN - CAISSONS GEFUNDEERD OP PUTTEN -

| Nr | Werkomschrijving                                                             | 1975 | 1976 | 1977    | 1978              | 1979              | 1980       | 1981 | 1982 | 1983      | 1984                                    | 1985           | 1986 | 1987 |
|----|------------------------------------------------------------------------------|------|------|---------|-------------------|-------------------|------------|------|------|-----------|-----------------------------------------|----------------|------|------|
| 1  | Verdichten ondergrond                                                        |      |      | ONTWERP | BOUW EN BEPROEVEN |                   | UITVOERING |      |      |           |                                         |                |      |      |
| 2  | Pylonen trekken                                                              |      |      |         |                   |                   |            |      |      |           |                                         |                |      |      |
| 3  | Drempel                                                                      |      |      |         |                   |                   |            |      |      |           |                                         |                |      |      |
| 4  | Bodembescherming                                                             |      |      |         |                   |                   |            |      |      |           | AANSTORTEN CAISSONS                     |                |      |      |
| 5  | Landhoofden                                                                  |      |      |         |                   |                   |            |      |      |           |                                         |                |      |      |
| 6  | Damaanzetten en buitenhavens                                                 |      |      |         |                   |                   |            |      |      |           |                                         |                |      |      |
| 7  | Bouwputten fase I en fase II                                                 |      |      |         | BOUWPUT ROOMPOT   | BOUWPUT SCHAAR    |            |      |      |           |                                         |                |      |      |
| 8  | Werkterrein putten en palen                                                  |      |      |         |                   |                   |            |      |      |           |                                         |                |      |      |
| 9  | Plaatsen putten en palen                                                     |      |      |         |                   |                   |            |      |      |           | DORPELS                                 |                |      |      |
| 10 | Plaatsen caissons                                                            |      |      |         |                   |                   |            |      |      |           | BAGGEREN GEULEN                         |                |      |      |
| 11 | Schuiven, bewegingswerken en elektrische installaties (enk. en dubb. kering) |      |      |         |                   |                   | ONTWERP    |      |      | FABRICAGE | KERING                                  | BEDRIJFSGEREED |      |      |
| 12 | Drijfmiddelen                                                                |      |      |         |                   |                   | ONTWERP    |      |      | FABRICAGE | BEPROEVEN + AANVOER 1 <sup>o</sup> STEL |                |      |      |
| 13 | Catamaran                                                                    |      |      | ONTWERP | BESTEK            | BOUW EN BEPROEVEN |            |      |      |           |                                         |                |      |      |
| 14 | Betonwerk caissons                                                           |      |      |         |                   |                   |            |      |      |           | ROOMPOT                                 |                |      |      |
| 15 | Betonwerk putten en palen                                                    |      |      |         |                   |                   |            |      |      |           | SCHAAR + HAMMEN                         |                |      |      |
| 16 | Voorzieningen scheepvaart                                                    |      |      |         |                   |                   |            |      |      |           | PUTTEN + PALEN                          | DORPELS        |      |      |

## Hoofdstuk 8

### ANALYSE VAN DE BESCHOUWDE ONTWERPEN

#### 8.1. ALGEMEEN

Omdat de stormvloedkering moet worden gebouwd in de geulen van de beweeglijke monding van de Oosterschelde, die open ligt voor golfaanval vanuit zee, wordt de uitvoering van de werken ter plaatse in sterke mate bemoeilijkt.

Deze omstandigheid is bepalend voor het ontwerp. Het ligt dan voor de hand de activiteiten in de geulen zelf tot een minimum te beperken en te streven naar prefabricage van een zo groot mogelijk deel van de kering in een meer beschermde omgeving.

Caissons, putten en pijlers kunnen gebouwd worden in de bouwputten of op werkterreinen, waar werkzaamheden onder beheerste omstandigheden kunnen worden uitgevoerd.

Hetzelfde geldt voor de fabricage van de schuiven, bewegingswerken en elektrische installaties in de fabriekshallen.

Dit deel van de bouwactiviteiten roept dan ook de minste problemen op.

De onzekerheid ten aanzien van de te hanteren hydraulische en grondmechanische randvoorwaarden in de eindfase vormt bij deze geprefabriceerde elementen het grootste probleem; maar dat is een probleem van het ontwerp, niet van de uitvoering. Van de hydraulische aspecten zijn de golfrandvoorwaarden het meest onbekend. Men moet vanuit een relatief gering aantal waarnemingen extrapoleren naar de maatgevende omstandigheden.

De beweeglijkheid van de bodem in de Oosterscheldemonding die maakt dat de grondgesteldheid van plaats tot plaats kan variëren, noodzaakt tot een intensieve grondmechanische verkenning, die evenwel in een voorontwerp als dit slechts in beperkte mate kon worden uitgevoerd.

De belangrijkste uitvoeringsproblemen betreffen de activiteiten in de geulen zelf: enerzijds het plaatsen van geprefabriceerde elementen zoals caissons of putten, en anderzijds het maken van

onderdelen van de kering ter plekke, zoals de drempel en de bodembescherming. Bij deze werkonderdelen vormen naast de randvoorwaarden in de eindfase de uitvoeringstechnische omstandigheden tijdens de bouwfase een belangrijk element van het ontwerp. Zo is de grondgesteldheid een belangrijk gegeven bij het op diepte brengen van de putten. De gecombineerde water- en zandbeweging speelt een belangrijke rol in de uitvoeringsmogelijkheden van de drempel voor de op staal gefundeerde caissons. Voorts is de werkbaarheid van het materieel bepalend voor het werkplan, terwijl de betrouwbaarheid van het gemaakte werk sterk afhankelijk is van de mogelijkheid tot controle. Een uitzondering vormt het monteren van de geprefabriceerde schuiven, bewegingswerken en elektrische installaties. Dit geschiedt in het geval van de caissons in de bouwputten en in het geval van de pijlers in het sluitgat, maar dan kan gewerkt worden vanaf de reeds aanwezige betonnen bovenbouw; in beide gevallen dus onder goede werkomstandigheden. De ontwerpen worden nu verder vergeleken in hun kritische aspecten. De vergelijking betreft dan met name de fundering, de afdichting, het plaatsen van de betonnen elementen, de werkschema's en de kosten.

## 8.2. DE FUNDERING

De stormvloedkering met caissons op staal wordt gefundeerd op de drempel en de daaronder gelegen zandbodem. Onder de op drie vlakken opgelegde caisson dient de drempel en een gedeelte van de ondergrond dan ook te worden verdicht.

Op basis van verdichtingsproeven in de nabijheid van de sluitgaten en van grondverkenningen mag worden gesteld dat de ondergrond over het grootste gedeelte van het lengteprofiel in voldoende mate verdicht kan worden.

In het diepe deel van de Roompot en aan de zuidzijde van de Hammen zijn plaatselijk slibrijke lagen aangetroffen, waarvan niet zeker is of ze verdichtbaar zijn. Verwacht wordt evenwel dat hiervoor een bevredigende oplossing zal kunnen worden gevonden.

Met behulp van sonderingen en dichtheidsmetingen is het resultaat van de verdichting in de praktijk goed vast te stellen.

Het hoofdprobleem bij de verdichting van de drempel in de sluitgaten vormt het natuurlijk zandtransport. Met name ter plaatse van inbaggeringen moet worden gerekend op in- en opzanding van de afzonderlijke drempellagen. Bij zeer sterke inzanding wordt het steenskelet wellicht minder goed verdicht dan nodig is. Als later het zand uitspoelt uit het steenskelet moet de drempel toch de mechanische eigenschappen behouden, die nodig zijn om de stabiliteit van de caissons onder extreme omstandigheden te garanderen.

Controle op de mate van verdichting van een aangezande drempel zal bovendien moeilijk zijn.

Het ontwerp en de uitvoering van de drempel bergen derhalve een aantal onzekerheden in zich. Bij een alternatieve werkwijze zou de mate van aanzanding wellicht sterk kunnen worden beperkt. Aan de mogelijkheid tot ontwikkeling van een uitvoeringstechniek waarmee een onder alle omstandigheden betrouwbare drempel zou kunnen worden gerealiseerd, wordt echter getwijfeld. In elk geval moet worden aangenomen dat de uitvoeringskosten bij een technisch aanvaardbaar alternatieve werkwijze aanzienlijk hoger zullen zijn.

De alternatieven voor het huidige ontwerp van een fundering op staal, bijvoorbeeld met een afgedichte drempel, met zwaardere caissons of met volledig ondersteunde caissons, wordt vooralsnog gekenmerkt door een grote mate van onzekerheid ten aanzien van hun uitvoerbaarheid. Bovendien moet verwacht worden dat deze alternatieven zowel qua kosten als qua uitvoeringsduur onaantrekkelijk zullen zijn.

Bij het ontwerp van een stormvloedkering met caissons op putten en met pijlers op putten worden de funderingen gevormd door betonnen putten, die de verticale en een groot deel van de horizontale belastingen overdragen aan de dieper gelegen bodemlagen. De horizontale steundruk wordt bij deze fundering voor een deel ontleend aan de hoger gelegen zandlagen en in de diepe delen van de sluitgaten aan de drempel.



Beperkt grondmechanisch onderzoek in de diepere grondlagen heeft reeds aangetoond dat op het thans aangenomen funderingsniveau - dat maximaal tot N.A.P. -45 m reikt - niet overal voldoende hoge consuswaarden worden aangetroffen. Op zulke plekken moet de grond onder de betreffende put worden verdicht over maximaal 10 m hoogte, of de put moet dieper worden gesteld, tot op ca. N.A.P. -53 m, waar in alle gevallen zeer vaste lagen werden aangetroffen. Het verdichten van de grond onder de put wordt technisch uitvoerbaar geacht; uit kostenoverwegingen verdient het de voorkeur. Het resultaat van de verdichting is goed te controleren. Verlenging van de putten heeft wellicht tot gevolg dat de Catamaran zal moeten worden aangepast. Dit is technisch mogelijk. De kans op inzanding van de drempel is bij het ontwerp met pijlers op putten veel geringer dan bij de caissons op staal, terwijl de gevolgen ervan bij beide ontwerpen met een fundering op putten minder ingrijpend zijn, omdat de drempel in beperkte mate deel uitmaakt van de fundering. Samenvattend: Bij het ontwerp met caissons op staal kleven er zulke onzekerheden aan het leggen en verdichten van de drempel en aan de controle van de resultaten dat deze fundering thans als onvoldoende zeker van de hand moet worden gewezen. Het ontwerp en de uitvoering van een fundering op putten dient verder te worden uitgewerkt en geoptimaliseerd; maar reeds thans biedt het ontwerp voldoende perspectieven om als betrouwbaar te kunnen worden gekwalificeerd.

### 8.3. DE AFDICHTING

De kwaliteit van de afdichting van de bodem onder en aan weerszijden van de kering wordt bepaald door twee factoren, de stroombestendigheid en de zanddichtheid. Voor wat betreft de stroombestendigheid is de situatie met een weigerende schuif maatgevend. Uit het modelonderzoek blijkt dat de onmiddellijke omgeving van de kering dan het zwaarst wordt aangevallen en dat de geometrie van de constructie daarbij van grote invloed is.

Bij de caissons is de aanval iets minder zwaar dan bij de pijlers, dankzij de bodembak en de smallere doorstroomopeningen.

Bij de caissons kunnen de drempeltaluds dan ook als een open steenfilter worden uitgevoerd, terwijl bij de pijlers een gesloten steenasfaltlaag noodzakelijk is. Met het aanbrengen van steenfilters is in het verleden ruime ervaring opgedaan; daar worden geen problemen bij verwacht. De materiaaleigenschappen van steenasfalt zijn bekend en voldoende controleerbaar. Verwerking op grote schaal van dit materiaal vergt echter geheel nieuw materieel, waaraan hoge eisen moeten worden gesteld. Dit aspect zal nog veel aandacht vergen, maar men meent dat een betrouwbare uitvoering mogelijk is.

Hoe streng de eisen van zanddichtheid moeten zijn die men aan de afdichting stelt, hangt voornamelijk af van de te verwachten verhangen.

Bij de caissons op staal concentreren de verhangen zich op de aanstortingen tegen de bodembak. In de ondiepe delen van de drempel treden onder extreme omstandigheden verhangen op in de orde van 30 % à 50 % ter plaatse van het grensvlak tussen zand en sandwich-constructie. Dit stelt hoge eisen aan de kwaliteit van het filterdoek en aan de uitvoering. Het huidige ontwerp van een afsluiting met caissons op staal lijkt in dat opzicht voldoende zekerheid te bieden.

In de hogere drempellagen zijn de verhangen nog wat groter, maar een goed opgebouwd steenfilter moet daar tegen bestand zijn. Bij de puttenfunderingen ligt het probleem in principe moeilijker vanwege de aansluiting van het filter tegen de putwand. Met name de bewegingen die een put blijkt te maken tijdens storm, vormen een probleem.

De verhangen concentreren zich bij een stormvloedkering met pijlers rond de onderste dorpel in de bovenste filterlagen; ze liggen in dezelfde orde van grootte als bij caissons op staal.

De onder in de drempel opgenomen steenasfaltlaag reduceert de verticale verhangen op het grensvlak van zand en filter vrijwel tot nihil. De horizontale verhangen liggen in de orde van 10 % à 15 %. Het afdichtingsprobleem rond de putten wordt in principe oplosbaar geacht, maar voor een definitief ontwerp zal de afdichtingsconstructie nog moeten worden onderzocht in

een reeks proeven op grote schaal.

Samenvattend: Het afdichtingsprobleem moet in principe oplosbaar worden geacht voor alle drie de ontwerpen. Maar als men de stormvloedkering wil funderen op putten, dan zal de gekozen afdichtingsconstructie nog moeten worden getoetst middels proeven op grote schaal.

#### 8.4. PLAATSING VAN CAISSONS EN PUTTEN

Aan het plaatsen van de op staal gefundeerde caissons is in de studieperiode ruime aandacht besteed. Het probleem is dat binnen een relatief korte tijdsperiode rond de kentering zware elementen nauwkeurig geplaatst moeten worden.

Het krachtenspel en de bewegingen tijdens de operatie worden bepaald door het verloop van de stroomsnelheden en de golfbeweging. Het ontbreekt aan voldoende gegevens betreffende het voorkomen van deining en van de natuurlijke spreiding in de kenteringstijden. Daarom hebben de opgestelde tijdschema's en de geschatte sleepkrachten een oriënterend karakter.

Desalniettemin wordt verwacht dat voldoende nauwkeurige plaatsing van 53 caissons in één seizoen binnen aanvaardbare risico's mogelijk is.

Moeilijker omstandigheden treden op bij de caissons op putten. Het aantal caissons bedraagt 78. Deze 78 caissons moeten met een zeer geringe snelheid worden afgezonken op de in de putten gestelde opleggingen. De gevolgen van een eventuele misplaatsing zijn hier namelijk aanzienlijk ernstiger dan bij de caissons op staal. De risico's zijn derhalve duidelijk groter; ze bewegen zich waarschijnlijk op de grens van het toelaatbare. Zolang uit nadere studie geen nieuwe gezichtspunten naar voren komen, moeten dan ook bij de mogelijkheid caissons op putten te plaatsen een aantal vraagtekens worden gezet.

De problematiek bij het plaatsen van putten wordt beheerst door de vraag of de put op diepte komt, of de stabiliteit tijdens de uitvoering in geval van een storm is gewaarborgd en of de ontgrondingen rondom de put tijdens de plaatsing aanvaardbaar klein blijven.

De putten op diepte brengen is geen probleem. De vraag is maar,

hoeveel tijd daarmee gemoeid zal zijn. Problematisch is de stabiliteit tijdens de uitvoering. Bij het naderen van een storm moet de Catamaran een haven opzoeken. De dwarsstabiliteit van een onvoltooide put is dan onvoldoende; hij moet daarom zolang aan de naastliggende put worden gekoppeld. De tijd die daar mee heengaat, tezamen met de tijd benodigd voor loskoppelen van de Catamaran moet vanwege de voorspellingstijd van een storm, zoveel mogelijk worden beperkt. De ontgrondingen tijdens het plaatsen van de putten vormen een tweede belangrijk probleem. De thans voorgestelde maatregelen ter beperking van de ontgrondingen rond de putten moeten nader worden onderzocht en geoptimaliseerd. Verwacht wordt echter dat een betrouwbare oplossing kan worden gevonden.

Samenvattend: Plaatsing van de op staal gefundeerde caissons is met de gewenste nauwkeurigheid en binnen één seizoen met aanvaardbare risico's mogelijk.

Plaatsing van de caissons op putten is moeilijk. De moeilijkheden lijken oplosbaar, maar volgens de huidige inzichten zijn er veel risico's aan verbonden. Er is nader onderzoek nodig alvorens een definitief oordeel kan worden gegeven.

Plaatsing van de putten wordt technisch uitvoerbaar geacht. Met nadruk wordt gewezen op de noodzaak van een adequaat systeem van weersvoorspelling. Tevens moet nader worden gezocht naar een uitvoeringstechniek waarbij de ontgrondingen tijdens het plaatsen aanvaardbaar klein kunnen worden gehouden.

## 8.5. WERKSCHEMA'S

Bij de caissons gefundeerd op staal liggen de natte werken over vrijwel de gehele uitvoeringsperiode op het kritieke pad, ondanks het feit dat in dubbele ploegen zal worden gewerkt. Aan de opeenhoping van materiaal in de sluitgaten worden door de verankeringsmogelijkheden grenzen gesteld, het aanvoeren van steeds maar meer materieel biedt dus geen soulaas. Het wordt niet acceptabel geacht over lange perioden in meer

dan twee ploegen te werken.

Als we de zandproblematiek wel in aanmerking nemen moet een uitloop van 1 à 2 jaar tot de mogelijkheden worden gerekend. Dan zou de kering eerst in 1987 gereed kunnen zijn.

Bij de pijlers op putten ligt de bouw van de Catamaran en het plaatsen van de putten en pijlers in het uitvoeringsschema op het kritieke pad. Uitgaande van de geschatte cyclustijd van de Catamaran, kan de kering in het voorjaar van 1985 operationeel zijn.

Tegenslagen bij het werk met de Catamaran kunnen incidenteel worden opgevangen door langer te werken; ook is een uitlooptijd van ca. 3/4 jaar beschikbaar.

Bij de caissons op putten dienen de caissons uiterlijk in 1984 te worden geplaatst wil de kering eind 1985 gereed zijn.

Als we afzien van de problemen die de aanzanding tijdens de uitvoering veroorzaakt, dan ziet het er naar uit dat de caissons in 1985 geplaatst kunnen worden. De verdere afwerking vergt daarna nog ongeveer een jaar. De kering is derhalve op zijn vroegst eind 1986 bedrijfsgereed. Daartoe zou de drempel in het voorjaar van 1984 voltooid moeten zijn, en dat houdt weer in dat de putten half 1983 geplaatst moeten zijn.

Dit blijkt bij de inzet van één Catamaran niet haalbaar. Daarom wordt voor het plaatsen van de lichtere zeewaartse putten een extra werktuig ingezet, namelijk een zware bok van 1.500 ton.

Desondanks knelt het tijdschema bij het plaatsen van de putten. Hetzelfde geldt voor de natte werken, voornamelijk vanwege de grote inbaggeringen die vooruitlopend op het plaatsen van de putten moeten worden uitgevoerd.

Op basis van een nauw sluitende planning is eind 1985 juist haalbaar. Wordt de reserve voor uitloop ook inderdaad gebruikt dan moet er van worden uitgegaan dat de kering in 1986 bedrijfsgereed kan zijn.

Samenvattend: De kering van caissons op staal kan in 1987 of 1988 gereed zijn.

De stormvloedkering met pijlers op putten wordt naar verwachting in 1985 bedrijfsgereed opgeleverd.

Voor een kering met caissons op putten moet hiervoor 1986 worden aangehouden.

#### 8.6. KOSTEN

Bij de onderlinge vergelijking van de in hoofdstuk 7 gegeven kostenopstellingen dient onderscheid te worden gemaakt tussen werkonderdelen welke binnen het ervaringsgebied liggen en activiteiten waar geen ervaring mee bestaat. Het zal duidelijk zijn dat de onzekerheidsmarges in het laatste geval groter zullen zijn dan in het eerste geval.

Het blijkt dan dat bij alle drie de ontwerpen ca.  $3/4$  van de kosten gevormd worden door de activiteiten binnen het ervaringsgebied en dat  $1/4$  wordt besteed aan activiteiten buiten het ervaringsgebied. Bij de kostenraming van de caissons op staal zijn de financiële gevolgen voortvloeiend uit de aanzandingsproblematiek niet in beschouwing genomen, omdat de aanzanding voornamelijk de kwaliteit van de drempel beïnvloedt; er is thans geen norm aan te geven hoe dit in termen van de begroting zou moeten worden uitgedrukt. Zou uitsluitend worden gerekend met een uitloop van het werk als gevolg van de aanzandingen in de orde van 1 à 2 jaar, dan kunnen de extra kosten grof worden geschat op f 100 à f 200 miljoen. Eventuele verandering van de gestelde randvoorwaarden zullen het ontwerp en daarmee ook de kosten van het werk beïnvloeden. Uit een zeer globale analyse zou mogen worden afgeleid dat de kostenbegroting niet al te gevoelig is voor variaties in de randvoorwaarden.

De in de begroting aangenomen post onvoorzien kan geacht worden de onzekerheden in de randvoorwaarden alsook de onzekerheid die ontstaat door de introductie van nieuwe technieken, te dekken. Daarbij dient opgemerkt te worden dat door optimalisering van het ontwerp en van de uitvoeringstechnieken ook besparingen mogelijk geacht worden op sommige posten.

De kosten van de stormvloedkering met caissons op staal - zonder rekening te houden met aanzandingsproblemen - en met pijlers op putten zijn van dezelfde orde van grootte.

Het ontwerp met caissons op putten is ca. f 0,5 miljard duurder. Omdat voor de caissons op staal een extra post ter ondervanging van de aanzandingsproblematiek moet worden voorzien, blijkt het ontwerp met pijlers op putten het goedkoopste te zijn. De kosten ervan worden geraamd op ca. f 2,9 miljard voor één stormvloedkering voorzien van één stel schuiven. Een kering voorzien van een dubbel stel schuiven zal ca. f 0,5 miljard duurder zijn.